

Radiový Konstrukter

ROČNÍK II

1966

č. 1

Další nová vlna zachvátí svět. Kolik jich už bylo? A kdo by chtěl tvrdit, že tahle je už poslední? Profil tohoto čísla „Radiového konstruktéra“ dává tušit, o jakou vlnu jde. Ano, je to big-beat. Není to zdaleka jediná vlna, která současně hýbe světem – je jich naopak několik, ale to je právě na celé věci příznačné. A současně to dokazuje, že veškeré lidské dění má vlastnost spojených nádob: někde se něco semele, změní – a už se houpá i po-klidná hladina v jiných oborech.

Tedy – beat či nebeat? Nepokládáme tuto otázku zdaleka jako první a nechceme na sebe ani brát úlohu kritika, ať už shovívavého nebo přísného, zatracujícího. V našich skrovných možnostech máme jen dvě východiska: přispět svou trochou do mlýna big-beatového nadšení z hlediska jaksi odborného a technického, nebo takticky mlčet. Rozhodli jsme se pro to

první. Považujeme to z lidského hlediska za přirozenější a potom... Pamatujeme si přece (zvláště ti méně mladí), jak se často plýtvalo silami a energií proti jevům, které se nakonec na čas přesto prosadily – a zase samovolně a bez cizího přispění odumřely. Mohli bychom dnes například bojovat proti vlasatým „máničkám“ nejrůznějšími prostředky, vynakládat čas, úsilí a námahu. Přitom však s námi jistě bude každý souhlasit, budeme-li tvrdit, že si sotva dovedeme představit třicetiletého otce rodiny, jak s bujnými kadeřemi po ramena vykonává své rodičovské povinnosti k dítěti třeba desetiletému. To jen na adresu těch, kteří se domnívají, že dlouhé vlasy je možné vymýt přes noc nařízením nebo dekretem.

Vratme se však k původnímu tématu. Po záplavě kytarových skupin v posledních letech nastal odnedávna znatelný

Elektronika Udává rytmus

úbytek. Řada big-beatových skupin zanikla pro překážky takřka objektivní, ale zdá se, že hlavním důvodem byla kromě malého zájmu širšího obecního malá snaha propracovat se k vyšší úrovni. Souvisí s tím i okolnost, že možnosti hudebního souboru složeného jen z několika kytar a bicích jsou do jisté míry omezené. Úspěch takového souboru předpokládá téměř profesionální úroveň a také na hla-

sové možnosti hudebníků klade vysoké požadavky. Proto se některé soubory zaměřily na „hledání nových cest“ používáním nových, nezvyklých hudebních nástrojů, které obohacují harmonii skladby a působí atraktivně na posluchače. Takových nástrojů by se našlo dostatek i v muzejních regálech, jenže mladá generace má přece jen blíže k technice a elektronice než k dědictví našich dědů. A

právě proto stoupá kurs elektrických hudebních nástrojů.

Konečně, že nové výrazové prostředky hledají i komorní hudební tělesa, je zřejmé i z toho, že 12. ledna t. r. se uskutečnil první koncert elektronické hudby souboru Musica viva pragensis v Domě umělců v Praze za řízení Zbyňka Vostřáka. Zajímavý pokus o spojení modernosti s klasickou interpretací v oboru vážné hudby jistě nezůstane ojedinelý.

Faktem je, že dobrý hudebník vystačí i bez elektroniky. Faktem je však také to, že pomocí elektrických hudebních nástrojů se dá dělat hudba sice moderní, ale

přítom dobrá, i když té nedobré je asi zpočátku přece jen víc. Ta dobrá bude potřebovat nejen dobré hudebníky, ale také dobrého odborníka v elektronice. Soubor, který takového „radiového fan-du“ má, může dosáhnout úspěchů, nebudou-li jeho cíle příliš nízké. A právě tak tomu bude i v největším souboru, jaký si můžeme představit – v celé naší společnosti. Čím více budeme mít odborníků v elektronice, tím lépe, protože elektronika udává rytmus nejen v moderní hudbě, ale v celém našem životě. A pomůže-li nám vychovat jich třeba jen zlomek big-beat s jeho elektrickými nástroji, nebyl na světě tak docela zbytečně.

Elektrické Hudební Nástroje

Bohuslav Hanuš

Elektrické hudební nástroje se těší neustále rostoucímu zájmu hudebníků i široké obce příznivců radiotechniky, kteří v nich nalézají bohatý program zajímavé tvůrčí práce.

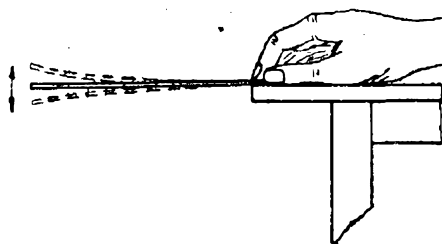
Rádné pochopení činnosti elektrických hudebních nástrojů předpokládá základní znalosti elektroakustiky. Rozsah této publikace nám sice nedovolí probrat základy elektroakustiky dostatečně podrobně, povíme si však stručně alespoň to nejdůležitější.

Od zvuku k tónu

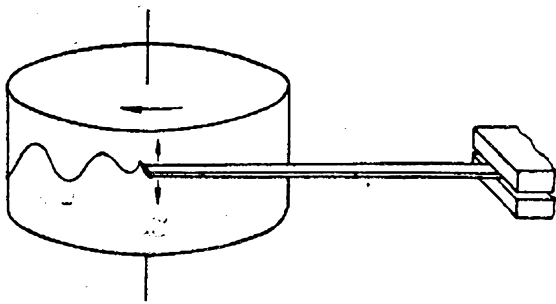
Zeptá-li se vás někdo, co je to zvuk, můžete mu odpovědět buďto nějakou kostrbatou definicí, nebo prostě udeříte pěstí do desky stolu a názorně na místě „vyrobíte“ zvuk, jehož intenzita bude dostatečně přesvědčivá (zejména využijete-li momentu překvapení). Až se tazatel opět vzpomene, můžete mu dále vy-

světlit, že deska stolu se pod úderem vaší pěsti rozkmitala. Současně s ní se rozkmital i okolní vzduch a jeho chvění znamenaly sluchové orgány všech přítomných.

Znamená to tedy, že každé chvění vzduchu vnímá naše ucho jako zvuk? Nikoli! Průměrné lidské ucho je schopné vnímat jako zvuk jen kmitočty v rozmezí od 16 Hz do 16 000 Hz (1 Hz = 1 kmit za vteřinu, 16 Hz = 16 kmitů za vteřinu atd.). Horní hranice slyšitelnosti je přitom u jednotlivců značně rozdílná. Někteří lidé (zejména děti) vnímají jako zvuk ještě kmitočty kolem 20 000 Hz, za-



Obr. 1. Vznik tónu chvěním hmotné soustavy



Obr. 2. Grafický záznam sinusových kmitů

tímco jiní (starší lidé) neslyší již kmitočty nad 10 000 Hz (horní hranice slyšitelnosti klesá s věkem).

Zvuk je obecně libovolná směs nejrozmanitějších kmitů z oblasti slyšitelnosti. Pod pojmem *tón* rozumíme naproti tomu jen takový zvuk, který má určitý relativně stálý kmitočet (stálou výšku tónu).

Z praxe víme, že jednotlivé hudební tóny se navzájem liší. Mají rozdílný kmitočet, sílu (hlasitost) délku a zabarvení. Kmitočet (výška), hlasitost (v hudbě *dynamika*) a také délka tónu se v partiturách vyjadřují notovým písmem. Představa fyzikální podstaty zde není příliš složitá. Podívejme se na názorný příklad: vezmeme dřevěné pravítko a přidržme jeden jeho konec pevně na desce stolu podle obr. 1. Rozkmitáme-li nyní volný konec pravítka, ozve se zvuk, který při trošce shovívavosti můžeme nazvat tónem. Hlasitost tónu bude záležet na velikosti rozkmitu volného konce. Kmitočet tónu bude záviset na tloušťce, šířce a délce přečnávajícího konce pravítka (např. po-

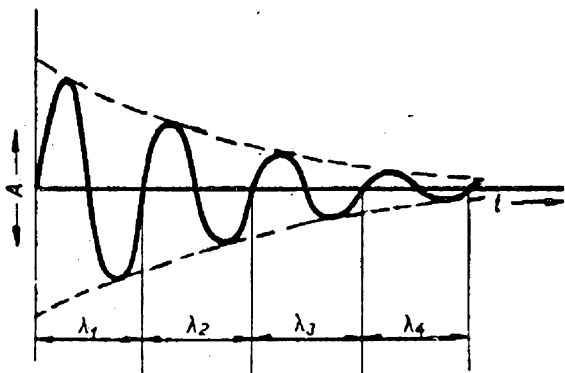
stupným zkracováním přečnávajícího konce se bude kmitočet tónu zvyšovat). Délku tónu bude v našem případě určovat jednak velikost počátečního rozkmitu, jednak materiál a způsob uchycení pravítka (čím pevněji bude pravítko uchyceno, tím déle vydrží kmitat).

Pro nás bude mít velký význam naučit se vyjádřit tyto poznatky graficky, nebo si je umět v grafické podobě alespoň představit. Je to poměrně jednoduché: upevníme-li například k volnému konci pravítka z obr. 1 nějaký písíci hrot, bude nám po rozkmitání pravítka zapisovat (zakreslovat) tvar a velikost kmitů na stěnu otáčejícího se válce podle obr. 2 (za předpokladu, že se válec otáčí konstantní rychlostí). Rozvineme-li pak plášť válce, získáme známý graf tzv. *tlumených kmitů* (obr. 3).

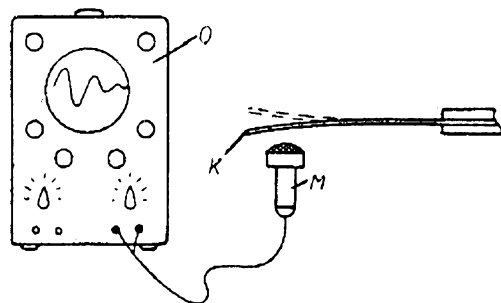
Z grafu na obr. 3 můžeme vyčíst několik zajímavých skutečností. Především je na první pohled patrné, že tzv. amplituda (rozkmit) kmitů neustále klesá (síla tónu slábne). Pokles je zpočátku strmější, později pozvolnější. To je charakteristická vlastnost všech tlumených kmitů (tj. takových, které nejsou nějakou vnější energií udržovány na stejné intenzitě).

Nepřehlédneme na obr. 3, že délka (doba) jednotlivých kmitů ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ atd.) je stále stejná, protože kmitočet tónu se s poklesem amplitudy nemění.

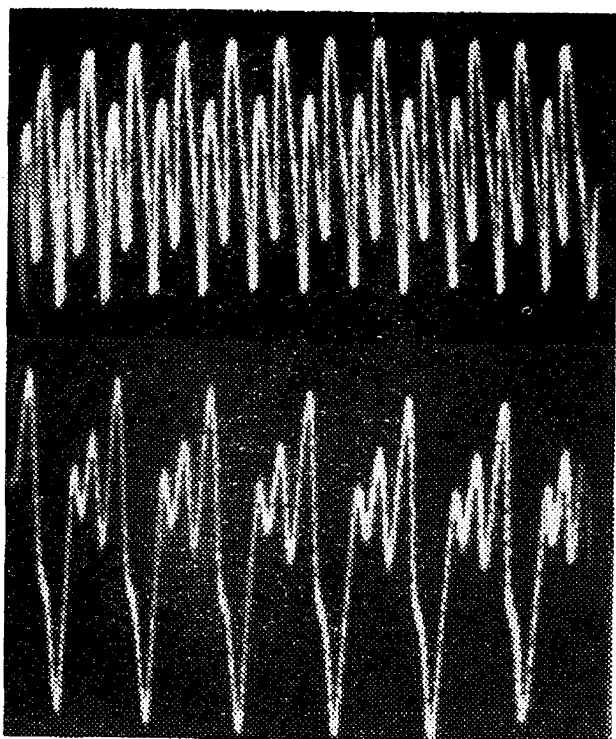
Pro pochopení další látky bude užitečné, řekneme-li si hned, že grafický obrázek libovolných kmitů můžeme získat daleko přesnějšími metodami než způsobem podle obr. 2. Jednou z takových



Obr. 3. Tlumené kmity
A – amplituda (rozkmit) kmitu,
 λ (lambda) – délka kmitu



Obr. 4. Princip snímání kmitů pomocí mikrofonu a osciloskopu
K – kmitající těleso, M – mikrofon,
O – osciloskop



Obr. 5. Ukázka harmonického složení kmitů komorního „a“ hraného na housle (nahore) a na flétnu (dole)

metod je použití osciloskopu ve spojení se snímacím mikrofonem. Příklad je na obr. 4. Pod kmitajícím tělesem (pravítkem, jazýčkem, strunou apod.) přidržíme mikrofon, který je připojen k osciloskopu. Tvar snímaných kmitů vidíme bezprostředně na obrazovce osciloskopu (u přímozapisujících oscilografů mohou být kmity současně zakresleny na pásku).

Pomocí osciloskopu můžeme tedy bez obtíží vyšetřit tvar kmitu jakéhokoliv tónu z libovolného zdroje. To nám umožní najít odpověď na jednu z dalších důležitých otázek. Co je příčinou toho, že dva tóny stejného kmitočtu mají různé zabarvení? Co způsobí, že například komorní „a“ hrané na houslích má jiné zvukové zabarvení než tentýž tón hraný například na flétnu? Porovnáme-li tvary kmitů tónů obou těchto nástrojů (obr. 5), vidíme, že se navzájem značně liší. Čím si to vysvětlit? Vraťme se ještě na okamžik k obr. 2. Kmity zde měly tvar tzv. sinusovky. Jednoduché těleso je při splnění určitých předpokladů schopno kmitat pravidelnými sinusovými kmity. U tradičních hudebních nástrojů se však prak-

ticky nesetkáme s případem, že by se tvar kmitů jejich tónů podobal sinusovce. To proto, že hlas žádného nástroje netvoří jen tón odpovídající kmitočtu ladění, ale přimíchává se k němu celá řada přidavných tónů, vznikajících rezonancí (spoluzněním) různých částí nástroje.

Je zřejmé, že by nebylo výhodné, aby hlasy hudebních nástrojů obsahovaly jen základní sinusový kmitočet. Vždyť pak by zabarvení tónů všech nástrojů bylo stejné – nehledě k tomu, že tón tvořený čistým sinusovým kmitočtem není hudebně příliš působivý (zní chudě). Proto cena klasických mistrovských nástrojů spočívá právě ve schopnosti dokonalé rezonance jejich ozvučnice. Jedině hlas takového nástroje dává bohatý zvukový obraz, který podmaňuje posluchače svou lahodností.

Objasněme si ještě fyzikální podstatu rezonance a s ní spojený vznik harmonických kmitočtů. Pomůžeme si opět praktickým příkladem: představme si, že máme blízko sebe dvě struny naladěné na stejný kmitočet. Rozechvějeme-li jednu, rozkmitá se i druhá, aniž bychom se jí dotkli. Co je toho příčinou? Chvění jedné struny se prostřednictvím rozkmitaného okolního vzduchu přeneslo na druhou, protože byla s první v rezonanci. Podobně začne druhá struna kmitat i tehdy, bude-li naladěna na poloviční nebo dvoj-, troj- a vícenásobný kmitočet struny první (intenzita kmitů však bude zpravidla nižší než v případě ladění na stejný kmitočet). Ve všech případech jde o jev, kterému říkáme rezonance. Přiblížíme-li ke zdroji zvukových kmitů místo rezonující struny nějakou jinou vyladěnou hmotnou soustavu, rozkmitá se stejně jako předtím struna. Takovou soustavou může být například ozvučnice (korpus) strunného nástroje apod. Rozeznáme-li tedy například na kytáře strunu *E*, začnou spolurezonovat všechny části nástroje, které jsou s tímto kmitočtem v rezonanci. Stejně tomu bude i u dalších tónů nástroje.

Vyrobít takovou ozvučnici, která by dokázala rezonovat v celém kmitočtovém rozsahu nástroje, je velmi složitá záležitost. Není proto divu, že se u četných strunných nástrojů setkáváme s takzvanými vlky (říkáme tak tónům, s nimiž

ozvučnice nerezonuje). Ani u mistrovských nástrojů nelze ostatně dosáhnout toho, aby se skladba rezonujících kmitočtů (harmonických kmitočtů) v celém rozsahu ladění neměnila. Je proto pro všechny klasické hudební nástroje příznačné, že se zabarvení tónů v jednotlivých tónových oblastech značně mění (kromě proměnlivých rezonančních schopností ozvučnice k tomu přispívá také nestejný materiál strun apod.).

Jednou z dalších specifických vlastností hudebních nástrojů jsou takzvané *přechodové jevy*, vznikající při nasazení a vysazení tónu (u klasických hudebních nástrojů je to zejména charakteristické nasazení tónu). Víme například, že jazýčkové nástroje (harmonium nebo harmonika apod.) mají obvykle velmi pozvolné, nevýrazné nasazení tónu, zatímco nasazení tónu u klavíru nebo kytary je provázeno ostře ohraničeným zvukem úderu kladívka nebo trsátka. Často bychom velmi obtížně určili, kterému známému hudebnímu nástroji tón patří, kdyby nám někdo – například na magnetofonovém pásku – vystříhal právě ony krátké tónové náběhy, které mají na celkový charakter tónu téměř stejný vliv jako jeho spektrální složení (obsah harmonických kmitočtů).

Tím naše informativní procházka elektroakustikou končí. Je pravda, že jsme ji trochu odbyli, ale k některým významnějším bodům se ještě vrátíme a základní poznatky si doplníme praktickými ukázkami aplikace.

Elektrické hudební nástroje s mechanickým zdrojem tónu

Do této skupiny patří všechny elektrické hudební nástroje, jejichž tón je vytvářen mechanickými kmity. Jsou to například různé nástroje strunné, jazýčkové apod.

Hlavními představiteli nástrojů s mechanickým zdrojem tónu jsou elektrofonické (elektrotónické) kytary a kytar-

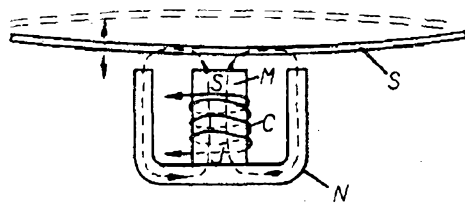
basy. Tón zde vzniká tradičním způsobem: chvěním struny, které je však poměrně slabé, takže elektrické zesílení tónu je velmi vítaným přínosem. Tón takového nástroje můžeme zesílit přiblížením mikrofonu k nástroji nebo vložením vhodného snímače pod jeho struny.

Elektrické snímání kmitů struny

Nejrozmanitější mechanické kmity libovolných těles lze snímat takzvanými elektroakustickými měniči. Mezi nejznámější a nejpoužívanější z nich patří měniče elektromagnetické, elektrodynamické, elektrostatické a piezoelektrické. Se všemi typy těchto měničů se setkáváme u různých konstrukcí mikrofonů a gramofonových přenosek.

K elektrickému snímání zvuku kytar a kytarbas se obvykle používají snímače elektromagnetické. Těmito snímači můžeme ovšem snímat i tóny jiných druhů hudebních nástrojů, jejichž vlastní zdroj tónů (vibrátor) je z magneticky vodivého materiálu (ocelová struna, ocelový jazýček apod.). Rozsah možností praktického použití elektromagnetického snímače nám nejlépe vymezí popis jeho činnosti.

Elektromagnetický snímač je zařízení, které slouží k přímé přeměně mechanických kmitů na kmity elektrické. Skládá se ze tří hlavních částí: cívky, trvalého magnetu a pólového nástavce z měkké oceli. Celkové uspořádání je na obr. 6. Jak pracuje takový snímač? Ze severního pólu trvalého magnetu (*M*) vycházejí magnetické siločáry, procházejí čárkovane vyznačenou cestou a vracejí se zpět do výchozího bodu. Vyznačená cesta se



Obr. 6. Princip elektromagnetického snímače

S – kmitající struna nástroje, *M* – magnet, *N* – pólový nástavec, *C* – cívka snímače

uzavírá přes magneticky vodivou strunu (S), pólový nástavec (N) a samozřejmě také přes obě vzduchové mezery (tj. přes mezeru magnet-struna a mezeru struna-pólový nástavec). Celá dráha magnetické siločáry se skládá z několika částí: severní pól magnetu – vzduchová mezerka – struna – druhá vzduchová mezerka – pólový nástavec – jižní pól magnetu – severní pól magnetu. Nyní si představme, že struna (S) začne kmitat ve směru vyznačeném šipkami. Co se stane? Bude se periodicky (v rytmu kmitů struny) měnit vzdálenost struny od snímače. V magnetickém obvodu se to projeví jako změna velikosti vzduchové mezery mezi strunou a snímačem. Tato změna bude mít za následek změnu velikosti magnetického toku. To znamená, že jádrem cívky (C), které tvoří magnet (M), bude procházet střídavý magnetický tok a ve vinutí cívky vznikne podle známého fyzikálního zákona střídavé elektrické napětí (říkáme, že se v cívce napětí indukuje). Kmitočet indukovaného napětí je shodný s kmitočtem chvějící se struny.

Magneticky vodivý průřez obyčejných kytarových strun je velmi rozdílný. Projeví se to rozdílnou velikostí napětí, indukovaného ve snímači kmitáním jednotlivých strun (struny s větším magnetickým průřezem vyvolají větší změnu magnetického toku a tím i větší indukované napětí). Z tohoto důvodu bývají snímače opatřeny vhodnými vyvažovacími prvky, jimiž je možné vykompenzovat rozdíly v magnetické vodivosti strun (rozdíly ve výsledné hlasitosti jednotlivých strun nástroje). Některé snímače mají vyvažovací červíky pod jednotlivými strunami, jiné (typu Brillant) mají magnetické bočníky (můstky), které tvoří jakousi magnetickou výhybku a umožňují potlačit velikost magnetického toku procházejícího jednotlivými strunami.

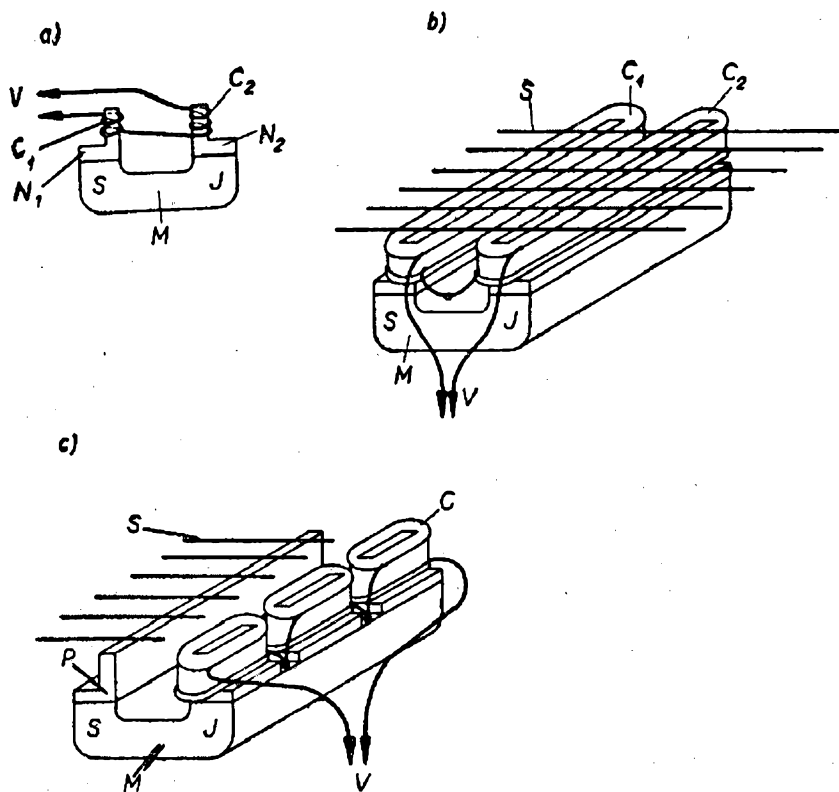
V poslední době se začaly na domácím i zahraničním trhu objevovat kytary s magneticky vyváženými strunami. Hlasitost jednotlivých strun je v tomto případě vyrovnaná, takže odpadá dodatečné vyvažování snímače (za předpokladu, že snímač má náležitě vyrovnanou útlumovou charakteristiku).

Elektromagnetické snímače se v poslední době staly velkou módou. Málomluvný hudebník zavzpomíná na časy před zrodem elektromagnetického snímače, kdy se do kytar instalovaly obyčejné mikrofony. Přesto však nelze počítat s tím, že by elektromagnetické snímače byly posledním slovem techniky. Elektromagnetický snímač má mnoho výhod: je výrobně poměrně nenáročný, dává dostatečně velké výstupní napětí (30 až 100 mV) a je přitom necitlivý k nežádoucím otřesům a pazvukům, které při hře na nástroj vznikají. Nesmíme však přehlížet skutečnost, že všechny tyto výhody jsou draze vykoupěny tím, že výsledný zvukový obraz nástroje je poměrně chudý. Příčinou toho je, že elektromagnetický snímač snímá jen samotné kmity strun, zatímco ozvučnice, která má u klasických nástrojů rozhodující vliv na lahodnost tónů, nenalézá zde dostatečné uplatnění (druh ozvučnice má při elektromagnetickém snímání jen málo znatelný vliv na zabarvení tónu).

Vzhledem k těmto nedostatkům elektromagnetického snímání lze doporučit přídatné použití mikrofonu tehdy, budeme-li požadovat, aby výsledný tón nástroje obsahoval harmonické složky vytvářené ozvučnicí. V takovém případě můžeme zapustit např. malý dynamický mikrofon do ozvučnice kytary v místech mezi koncem hmatníku a kobylkou (mezi dva elektromagnetické snímače). K praktické realizaci kombinovaného snímání se vrátíme později.

Amatérská stavba elektromagnetického snímače

I když samotný princip elektromagnetického snímače není příliš složitý, je stavba snímače při průměrných amatérských možnostech velmi ožehavou záležitostí. Proč? Protože snímač musí být navinut drátem o průměru 0,05 až 0,06 mm. To klade značné nároky na zručnost a vyžaduje i dobré nervy. Z experimentálního hlediska je však jejich stavba přesto velmi zajímavá a při dodržení základních zásad se nemusíme bát neúspěchu.



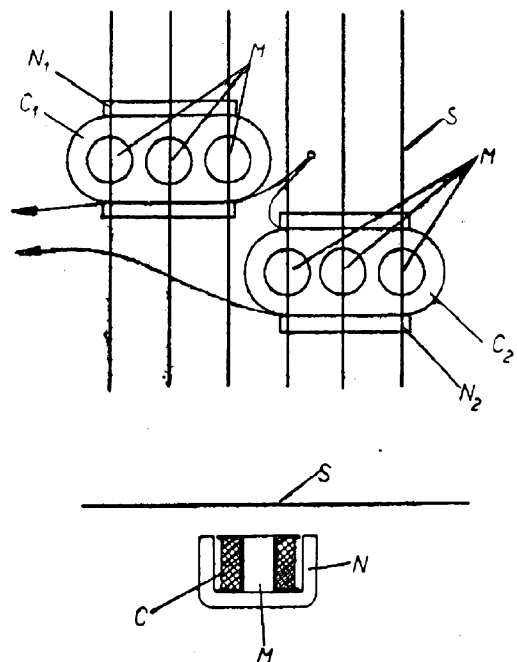
Obr. 7. Příklad elektromagnetického snímače s více cívkami (C – cívky snímače, V – vývody cívek, M – magnet, N – pólové nástavce, S – struny)

a) elektromagnetický snímač se dvěma cívkami; b) praktické uspořádání snímače; c) snímač ze tří sluchátkových cívek s impedancí po 1000 až 2000 Ω (cívky jsou spojeny v sérii tak, že konec předcházející cívky je vždy spojen se začátkem následující)

Rozměry a tvar snímače nejsou rozhodující. Čtenář, který dobře pochopil princip činnosti snímače podle obr. 6, může se odvázat vyřešit jej nejrozmanitějšími způsoby. Je však důležité uvědomit si některé základní podmínky. Na obr. 6 jsme rozdělili snímač na tři funkční celky: trvalý magnet, cívku a pólový nástavec. Při návrhu snímače bude většina amatérů vycházet z tvaru trvalého magnetu, který budou mít k dispozici. Amatéri nejčastěji k tomuto účelu používají různé válcové nebo krychlové magnety z dětských hraček a her. Takové magnety jsou vhodné na snímače pro kytary, kde nemůžeme potřebovat snímač nadměrně masivní. Naproti tomu u havajských kytar nebo u takových, do nichž lze snímač zapustit, můžeme použít podstatně masivnější magnety. Velikost použitého magnetu není prakticky omezena. Čím silnější bude magnet (tj. čím větší bude intenzita magnetického toku), tím větší výstupní napětí ze snímače získáme. Nepřehánějme však velikost magnetu natolik, aby tlumil kmity strun (je to nežádoucí zvláště u havajských kytar).

Cívka snímače je nejchoulostivější součástí. Má-li být snímač dostatečně citlivý, musí mít cívka asi 3000 až 6000 závitů

měděného lakovaného drátu. Může být vinuta „divoce“ na izolovanou kostričku libovolného tvaru. Není ostatně podmínkou, že snímač smí mít jen jednu cívku. Často používáme dvě nebo i více cívek zapojených v sérii. V takovém případě



Obr. 8. Dělený elektromagnetický kytarový snímač. M – válcové magnety, C – cívky snímače, N – pólový nástavec, S – struny



Obr. 9. Elektrofonická kytara s dělenými snímači (výrobek kalifornské firmy Fender)

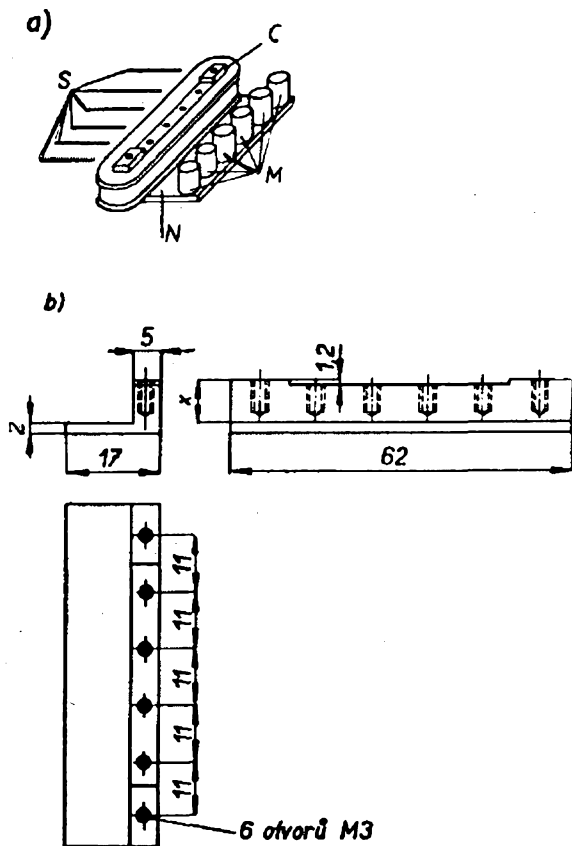
může být snímač řešen podle obr. 7a až 7c, nebo jako dělený podle obr. 8a a 8b. Dělené snímače používají některé profesionální zahraniční výrobky. Na obr. 9 je dvanáctistrunná kytara kalifornské firmy „Fender“, opatřená snímači tohoto druhu (pro zajímavost: některé špičkové kytary této firmy jsou v USA dražší než menší osobní automobil).

Citlivost elektromagnetického snímače (tj. získané výstupní napětí) je přímo úměrná počtu závitů cívky. Z toho však nelze vyvozovat, že by se vyplatilo počet závitů neúměrně zvyšovat, protože s počtem závitů roste indukčnost snímače. Takový snímač se pak stává kmitočtově velmi závislým prvkem, který omezuje průchod vysokých kmitočtů. To je také důvod, proč se někteří zahraniční výrobci raději smířují s nižší citlivostí, chtějí-li, aby snímač dával ostrý, kovový tón. Je to samozřejmě věc vkusu a z hlediska amatérské výroby také trpělivosti. Nevystačí-li někomu trpělivost na víc než 1000 až 2000 závitů, může cívku pokládat za vyhovující. Musí však počítat s tím, že bude muset postavit dostatečně citlivý zesilovač.

Zbývá ještě třetí součást snímače – pólový nástavec. Na jeho zhotovení se již nedá mnoho zkazit. Stačí, dáme-li mu potřebný tvar a nebudeme přespříliš šetřit materiálem. Dobrý pólový nástavec by totiž měl mít takový magneticky vodivý průřez, který by větší část magnetických siločar donutil k uzavírání přes struny nástroje. Příliš malý magneticky vodivý průřez pólového nástavce by měl za následek, že by se větší část magnetických siločar uzavírala mimo prostor, v němž kmitají struny.

Aby se ve snímači neindukoval nežádoucí síťový brum vlivem vnějších vazez, musíme alespoň cívku snímače zakrýt ze všech stran kovovým krytem, který však – vzhledem k principu činnosti snímače – nesmí být z magneticky vodivého materiálu. Z hlediska stínících účinků je to sice nevýhoda, nedá se však nic dělat. Nejvýhodnější bude spájet kryt z mosazného plechu, nebo jej vyfrézovat z kousku plného materiálu (např. mosazného nebo měděného odlitku). Kryt snímače musí být samozřejmě dobře uzemněn (spojen se stíněním).

Od jakostního snímače obvykle vyžadujeme, aby měl co nejmenší sklony k mikrofoničnosti, i když je to trochu v rozporu s požadavkem, aby snímal i harmonické kmitočty ozvučnice. Většinou by však mikrofoničnost snímače působila potíže. Zvláště u nástrojů bez ozvučnice



Obr. 10. Jakostní elektromagnetický snímač pro kytaru. a) sestava hlavních součástí snímače (C – cívka snímače, M – válcové magnety, N – pólový nástavec, S – struny); b) rozměry pólového nástavce z měkké oceli (rozměr označený x přizpůsobíme výšce použitého magnetu tak, aby magnet byl v úrovni s hlavičkami šroubů nástavce podle obr. 11c)

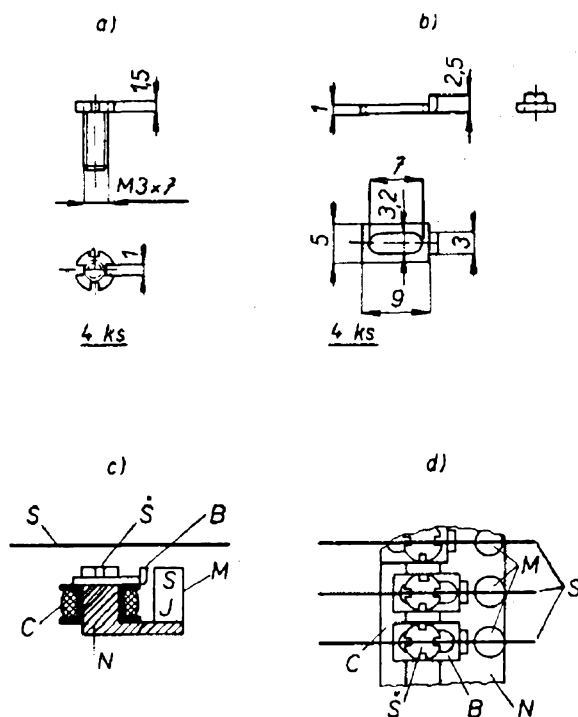
je požadavek minimální mikrofoničnosti plně odůvodněný.

Proto mají novější elektromagnetické snímače čs. výroby cívky impregnované parafínem a jednotlivé díly snímače fixovány tmelem. Ani u amatérských snímačů nesmíme zanedbat zejména impregnaci cívky. Její závity by jinak měnily během provozu snímače vzájemnou polohu a snímač by byl zbytečně citlivý k nahodilým otřesům nástroje, k dotekům apod.

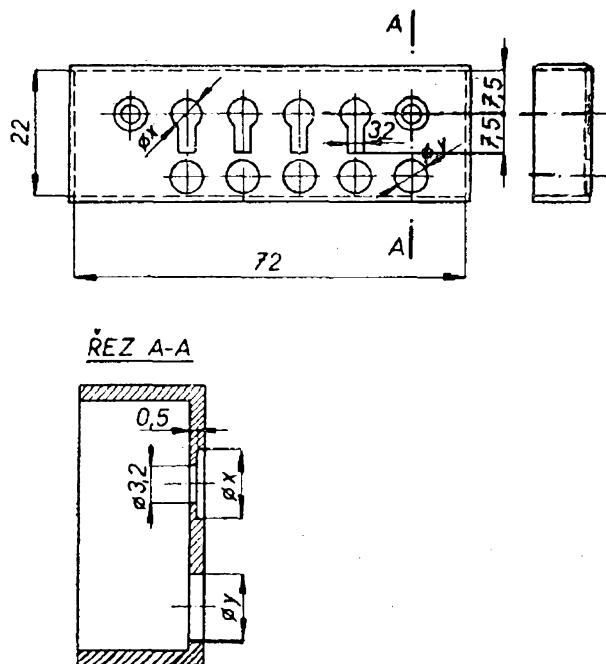
Příklad praktické konstrukce jakostního snímače je na obr. 10. Snímač je plášťového typu. Pólový nástavec (N) profilu „L“ tvoří jádro cívky (C). Kostra cívky je vyfrézována z organického skla (plexiskla) nebo slepena z celulóidu, perti-

naxu apod. Na protější straně pólového nástavce jsou přitmeleny válcové nebo krychlové magnety (M).

Do té části pólového nástavce, která tvoří jádro cívky, je vyříznuto šest závitů M3 pro šroubky se sníženou válcovou hlavou (obyčejným šroubkům opilujeme nebo soustružením snížíme válcovou hlavu a upravíme ji do tvaru podle obr. 11a. Na obr. 11b je malý magneticky vodivý můstek, jehož funkce je zřejmá z obr. 11c: můstek zastává u snímače úlohu magnetického bočnicku a tvoří výhybku magnetickému toku. Je-li můstek vysunutý, procházejí magnetické siločáry z větší části mimo kmitající strunu a zesílení tónu je minimální.



Obr. 11. Součásti elektromagnetického snímače. a) šroubek pro uchycení vyvažovacího můstku (stačí běžný ocelový šroubek s válcovou hlavou \varnothing 5 až 7 mm). Do hlavy šroubku uděláme 4 zářezy, podle nichž si zhotovíme šroubovák s přerušným břitem; b) rozměry vyvažovacích můstků snímače; c) řez sestaveným snímačem (bez krytu) C – cívka snímače, M – magnet, N – pólový nástavec, B – vyvažovací můstek (bočník), Š – šroub vyvažovacího můstku (součást pólového nástavce); d) pohled na detail sestaveného snímače shora



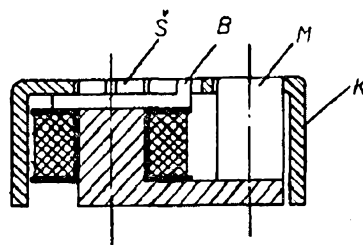
Obr. 12. Příklad provedení krytu snímače z obr. 10. Kryt je vyfrézován z plného materiálu, síla stěn je 1,5 až 2 mm; \varnothing_x – otvor podle průměru hlavy použitého šroubku; \varnothing_y – otvor podle průměru použitého magnetu. Celkovou výšku krytu přizpůsobíme rozměrům magnetů

Můstky nám tedy umožní vyvážit snímač tak, aby i při použití obyčejných strun byla hlasitost tónů vyrovnaná. Vzhledem k tomu, že obě krajní struny bývají u průměrně dobře postaveného snímače navzájem vyvážené, nepotřebujeme obvykle šest regulačních vyvažovacích prvků, ale jen čtyři pro vnitřní struny. V našem případě má tedy snímač vyvažovací můstky jen pod strunami H_2 , G_2 , D_4 a A_5 . Šroubků pod strunami E_1 a E_6 využijeme k uchycení krytu snímače, který je z plného materiálu podle obr. 12. Nesmí být samozřejmě z magneticky vodivého materiálu, naproti tomu však požadujeme stínící účinek. V úvahu přichází opět mosaz, bronz nebo i hliník a jeho slitiny. Obr. 13 ukazuje řez sestavou snímače. Vidíme na něm, že vyvažovací můstky se posouvají ve štěrbině mezi horní stěnou krytu a pólovým nástavcem. Každý ze čtyř můstků je upevněn jedním šroubkem M3. Po zamontování snímače do nástroje jej můžeme podle potřeby vyvážit tak, aby zejména

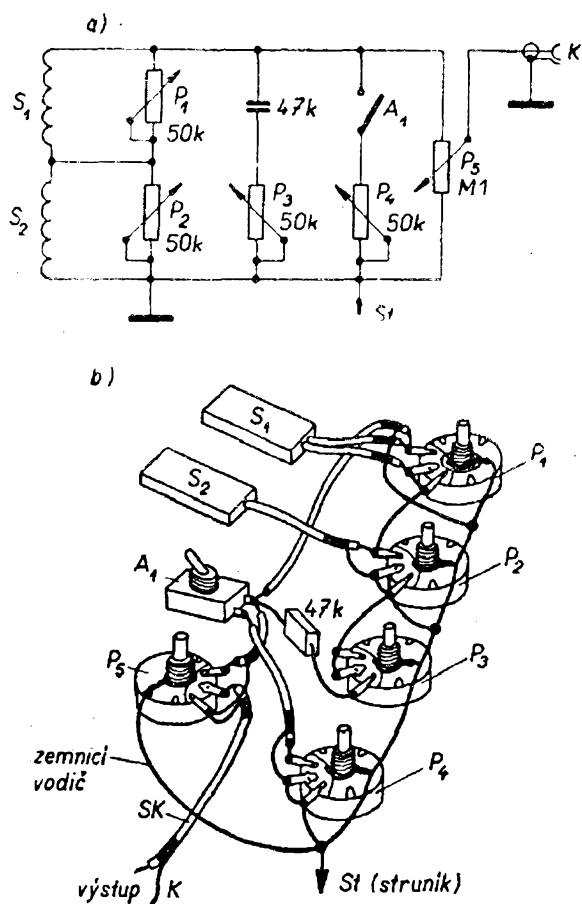
nejméně znějící struna H_2 nepřehlušovala ostatní (působí to velmi rušivě při doprovodné akordické hře, jak se můžeme přesvědčit poslechem některých tuzemských i zahraničních profesionálních nahrávek kytar s nedostatečně vyváženými snímači).

Výstupní napětí snímače není samozřejmě dáno jen jeho parametry; závisí i na tom, kde a jak je snímač na nástroji instalován. Největší zisk dává snímač instalovaný v bezprostřední blízkosti strun v místech jejich největšího rozkmitu, tedy u hmatníku. Budeme-li jej pomalu přemísťovat směrem ke kobylice, bude hodnota napětí indukovaného ve snímači klesat, protože rozkmit strun u kobylinky je mnohem menší. Nezbyvá než se s tím smířit nebo postavit kobylový snímač u dvousnímačové kytary citlivější (použijeme silnější magnety nebo asi o 50 % zvětšíme počet závitů cívky).

Jak je tedy vidět, je zhotovení přiměřeně jakostního snímače velmi náročná záležitost. Proto četné zahraniční amatérské stavební návody doporučují použít při konstrukci elektronických hudebních nástrojů jako stavební jednotku hotový tovární výrobek. Méně zkušeným amatérům to lze v současné době s klidným svědomím doporučit i u nás. Jakost našich továrně vyráběných snímačů (zvláště výrobků závodu Čs. hudební nástroje v Hořovicích) dosahuje v poslední době dobrého světového průměru. Bylo by proto škoda, aby méně zkušený amatér vynakládal při stavbě elektrofonické kytary zbytečné úsilí na operace, které vyžadují značnou manuální zručnost a mnoho odborných zkušeností.



Obr. 13. Řez sestavou snímače s krytem M – magnet, K – kryt snímače, B – vyvažovací můstek, Š – šroub vyvažovacího můstku



Obr. 14. Elektrické zapojení dvousnímačové kytary. S_1 , S_2 – elektromagnetické snímače, P_1 až P_5 – potenciometry, K – výstupní konektor, St – struník nástroje, SK – stíněné kablíky
a) schéma zapojení; b) ukázka praktického zapojení součástí

Elektrofonické kytary

Tato kapitola je určena těm, kdo si chtějí elektrofonickou kytaru postavit, přestavět nebo alespoň opravit. Rozsah této publikace však nedovoluje zabývat se celou problematikou detailně a proto se omezíme jen na několik nejdůležitějších souhrnných informací.

Přestavba obyčejné kytary na elektrofonickou může být nejjednodušeji vyřešena dodatečným instalováním snímače bez jakéhokoli dalšího elektrického příslušenství. Spokojíme-li se s takovým prostým řešením, bude třeba doplnit nástroj zesilovačem, jehož základní mani-

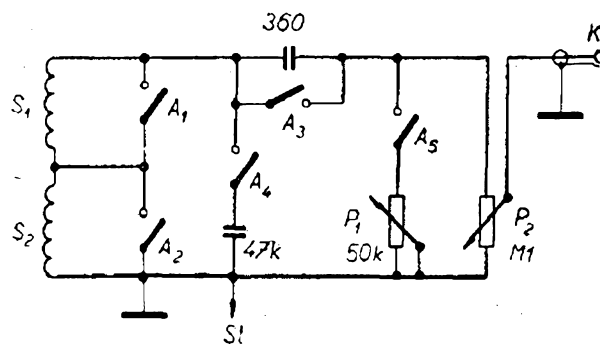
pulační prvky by byly i během hry snadno ovladatelné. Zesilovač lze např. řešit tak, aby volba tónové clony byla několika-stupňová, přepínatelná nožním přepínačem apod.

Častěji dají amatéři přednost bohatšímu vybavení samotného nástroje, budou chtít na kytaru instalovat nejméně dva elektromagnetické snímače a ještě některé základní doplňky. Zapojení, které umožňuje plynulou mixáž dvou snímačů, je schematicky na obr. 14a. a ve skutečném provedení na obr. 14b (pro méně zkušené amatéry). Snímače S_1 a S_2 jsou zde překlenuty potenciometry P_1 a P_2 . Funkce potenciometrů spočívá v tom, že vytočíme-li např. knoflík potenciometru P_1 zcela doprava (běžec potenciometru na obr. 14a bude dole), dostáváme ze snímače S_1 plnou hlasitost. Vytočíme-li naopak knoflík potenciometru P_1 zcela vlevo, zkratujeme potenciometrem snímač S_1 a nemůžeme z něj proto dostat žádný signál. Podobně je tomu u potenciometru P_2 , který je paralelně připojen ke snímači S_2 . Kromě dvou krajních poloh je možné nastavit v libovolném vzájemném poměru hlasitost obou snímačů tak, abychom dosáhli žádaného odstínu zabarvení tónu nástroje. Mixáží obou snímačů nevyčerpáme však ani zdaleka všechny možnosti tónového zabarvení. Proto jsme u našeho zapojení přidali v sérii s kondenzátorem 47k ještě potenciometr P_3 , jímž zavádíme mírnou tónovou clonu pro zvýraznění nižších kmitočtů. Princip takové tónové clony je jednoduchý. Jak víme, je kondenzátor kmitočtově závislý prvek. Střídavému napětí vyšších kmitočtů klade jen nepatrný odpor, zatímco střídavému napětí nižších kmitočtů klade odpor mnohem větší. Toho využíváme i u našeho zapojení, kde signál indukovaný ve snímači je také střídavým napětím proměnného kmitočtu (vysoké tóny mají kmitočty vyšší, hluboké tóny nižší). Zařadíme-li tedy paralelně k výstupu snímače (snímačů) mezi živý vodič a zem kondenzátor, bude klást vyšším kmitočtům malý a nižším kmitočtům velký odpor. Jinými slovy: vyšší kmitočty bude svádět na zem, zatímco nižší budou tónovou clonou procházet téměř nedotčeny. Tolik jen pro ná-

zornější představu. Ve skutečnosti nebude žádná běžná tónová clona působit natolik selektivně, abychom mohli stanovit nějakou ostrou dělicí hranici mezi kmitočty, které budou tónovou clonou procházet a těmi, které budou beze zbytku svedeny na zem. Pokles vysokých tónů bude v případě zapojení tónové clony podle obr. 14 pozvolný, tj. velmi vysoké zvukové kmitočty (vyšší harmonické složky základních tónů) budou při zkratovaném potenciometru P_3 svedeny tónovou clonou téměř beze zbytku na zem a na výstupu je tedy neuslyšíme. Střední kmitočty bude tónová clona svádět na zem již méně a proto je na výstupu budeme ještě zeslabeně slyšet. Nejnižší tónové kmitočty však budou také částečně svedeny na zem a proto se zařazení tónové clony u nástroje projeví poklesem výstupní hlasitosti tónu (pokles výstupního napětí signálu). Kdybychom místo kondenzátoru 47 000 pF (47k) zařadili větší, bylo by potlačení výšek ještě výraznější, současně by však pokleslo i napětí výstupního signálu. Výhodnější je naopak zavést tónovou clonu jen kondenzátorem 15 000 pF až 22 000 pF, kdy je pokles výstupního signálu poněkud menší.

Nepověděli jsme si dosud nic o úloze potenciometru P_3 . Většina čtenářů však z praxe ví, že je možné tímto způsobem měnit celkovou vodivost použitého RC řetězce. Je-li mezi dolní vývod kondenzátoru tónové clony a zem zapojen celý odpor potenciometru (50 k Ω), působí tónová clona jen velmi nepatrně. Při zkratovaném potenciometru je tomu naopak.

Zapojení na obr. 14 je účelně doplněno ještě potenciometrem P_4 v sérii se spína-

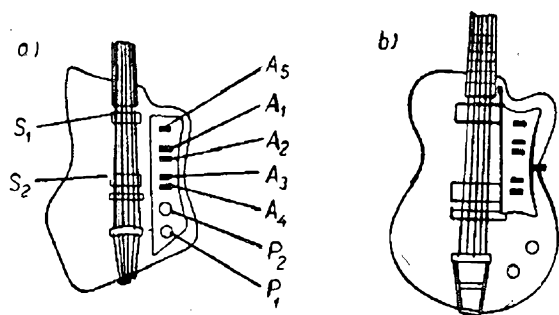


Obr. 15. Zapojení dvousnímačové kytary s páčkovými spínači

čem A_1 . Spínač A_1 slouží k pohotovému přepínání hlasitosti nástroje v okamžicích, kdy náhle přecházíme ze sólové hry do doprovodné a naopak. Při sepnutém spínači A_1 si potenciometrem P_4 předem nastavíme hlasitost doprovodné hry, která bývá podstatně tišší než hra sólová. Během skladby pak stačí sepnout při přechodu ze sóla na doprovod spínač A_1 , aniž bychom se museli zdržovat zdoluhavým nastavováním potenciometru výstupní hlasitosti.

Nakonec nám ještě zbyl potenciometr P_5 , který slouží k nastavení celkové výstupní hlasitosti nástroje. Z hlediska maximálního odstupu signál-brum je ovšem výhodnější, nastavujeme-li požadovanou úroveň hlasitosti nástroje přímo příslušným potenciometrem zesilovače, do něhož přivádíme plný signál z nástroje. Je tedy naprosto chybné, nastavíme-li zesilovač téměř na maximum a snažíme se vyvažovat hlasitost potenciometrem zapojeným do výstupu z nástroje. Zbytečně tím zvyšujeme citlivost prvního zesilovačícího stupně, čímž stoupá šum a síťový brum. Z těchto důvodů by mohl potenciometr P_5 u našeho zapojení odpadnout. Není však na škodu, máme-li jej zde pohotově k dispozici pro případnou regulaci dynamiky během hry apod.

Méně zkušené čtenáře je třeba také upozornit, že všechny kovové manipulační prvky včetně potenciometrů a snímačů musíme propojit stínícím vodičem. Se společným stínícím vodičem propojíme z bezpečnostních důvodů i struník nástroje, aby všechny vodivé části nástroje včetně strun byly spojeny s kostrou a tím i s nulovým vodičem sítě. Vyloučíme tím možnost úrazu elektrickým proudem, který by mohl při náhlé závadě v zesilovači proniknout do nástroje. Obr. 15 ukazuje jiné zapojení elektrické části kytary. Jde jen o menší obměnu zapojení z obr. 14. Spočívá v tom, že jsou zde většinou zařazeny spínače, které se dají během hry mnohem pohotověji ovládat než potenciometry. Počet kombinací je zde sice omezen jen krajními polohami manipulačních prvků, prakticky však nejde o nedostatek, který by barvitost zvukového projevu nástroje ztelněji ochuzoval. Jemnější odstíny zvukového zabarvení, kterých lze



Obr. 16. Uspořádání manipulačních prvků na kytáře. a) spínače rejstříků i potenciometry jsou na společném panelu; b) jiné uspořádání manipulačních prvků

dosáhnout např. plynulou mixází snímačů S_1 a S_2 otáčením os potenciometrů, jsou natolik nevýrazné, že se jich můžeme klidně zřici.

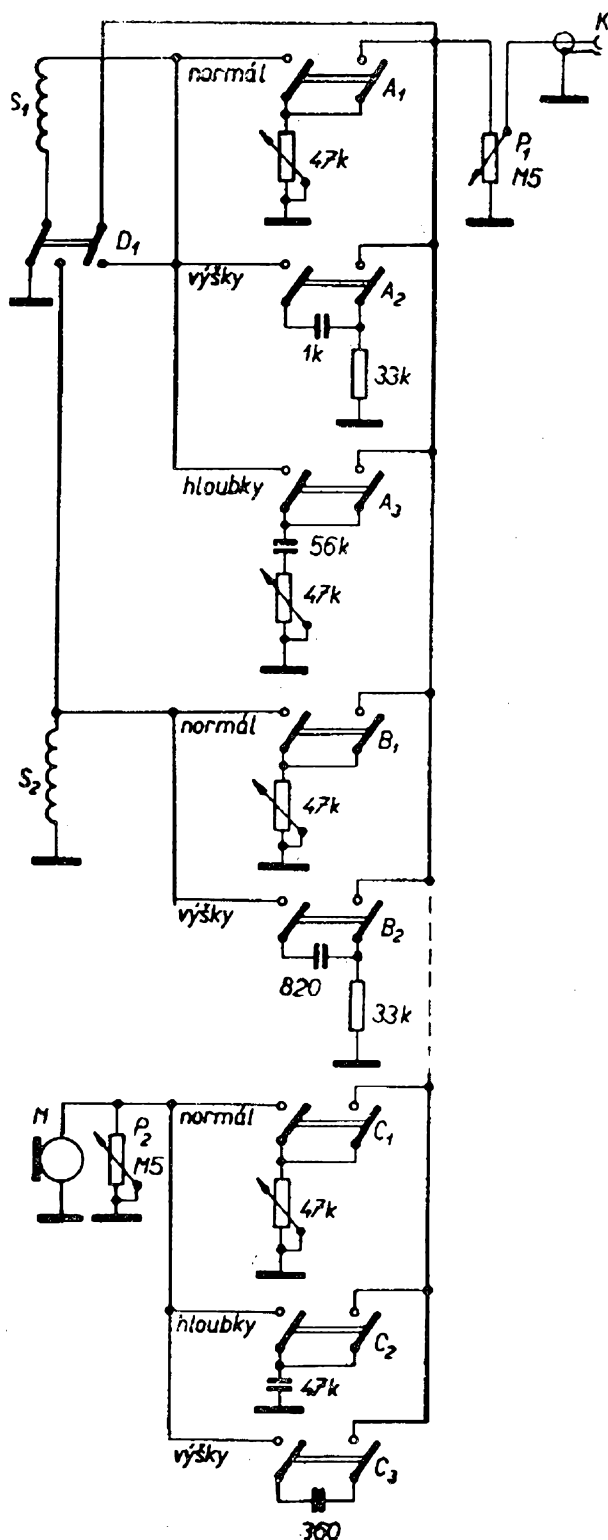
Porovnáme-li zapojení z obr. 14 a 15, zjistíme, že u druhého zapojení přibyl ještě kondenzátor 360 pF, přemostěný spínačem A_3 . Jde o jednoduchou výškovou tónovou clonu, která působí při rozepnutém spínači A_3 a dává ostrý, kovově zabarvený tón. Při sepnutém spínači A_3 je tónová clona zcela vyřazena.

Spínač A_4 v zapojení na obr. 15 patří k tónové cloně hlubokých tónů. Tento spínač funkčně nahrazuje obě krajní polohy potenciometru P_3 z obr. 14.

Činnost clony pro vysoké tóny z obr. 15 je podobná činnosti clony pro hluboké tóny: je-li spínač A_3 rozpojen, musí všechny střídavé zvukové signály procházet přes kondenzátor 360 pF.

Jde opět o kmitočtově závislý prvek, který se chová podobně jako kondenzátor tónové clony na obr. 14. Rozdíl je však v tom, že tentokrát je kondenzátor zapojen do série s cestou signálu. Vyšší kmitočty jím procházejí jen s malými ztrátami na výstup nástroje, zatímco nižším kmitočtům klade značný odpor.

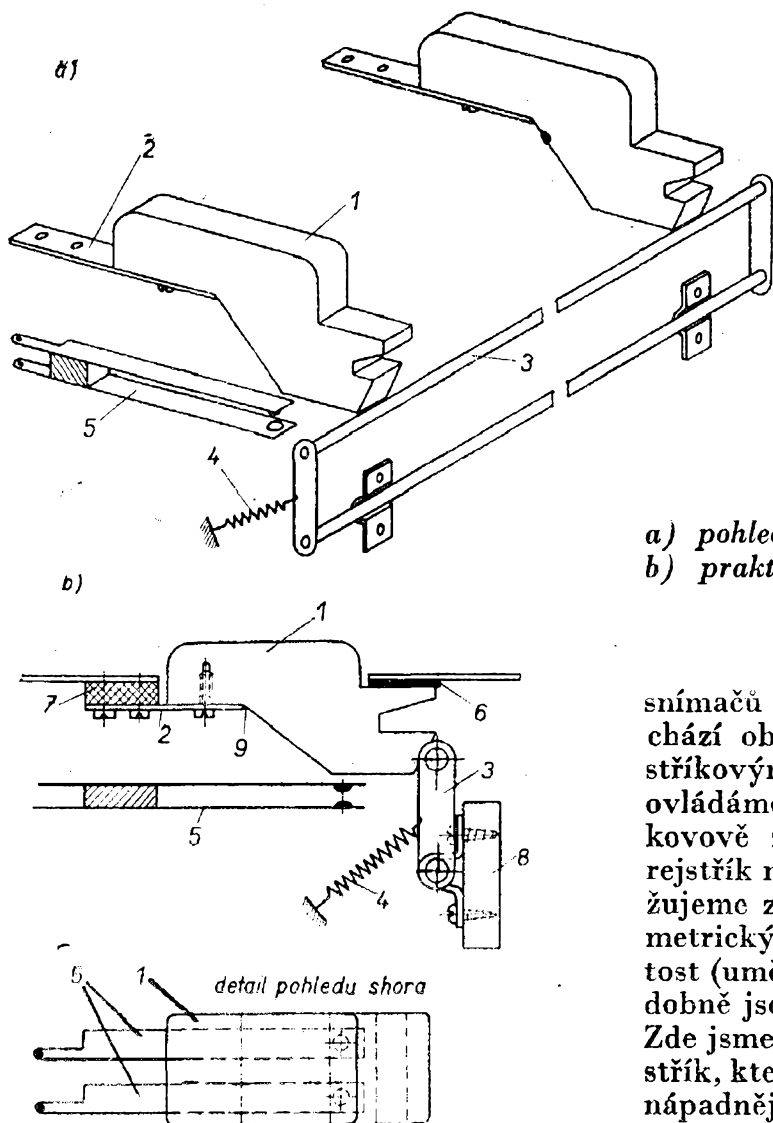
U nástroje zapojeného podle obr. 15 dosáhneme kombinacemi různých poloh spínačů A_1 až A_4 celkem 9 zvukových zabarvení. Přitom nepočítáme s kombinací, při níž by byl spínač A_3 rozpojen a spínač A_4 současně sepnut, protože v tomto případě je celkový útlum obvodu příliš velký.



Obr. 17. Zapojení elektrofonické kytary s kombinovanými snímači. A_1 až A_3 – rejstříkové spínače snímače S_1 , B_1 až B_2 – rejstříkové spínače snímače S_2 , C_1 až C_3 – rejstříkové spínače mikrofonního snímače M , D_1 – poruchový spínač (vyřazuje rejstříky)

Praktické uspořádání spínačů ukazuje obr. 16. Všechny jsou vestavěny do společného panelu, který by měl být z důvodu stínění kovový. Úlohu spínačů A_1 až A_3 mohou velmi dobře zastávat spínače páčkové nebo kolíbkové, vymontované ze spínačů pro bytovou světelnou instalaci (pro dvojici $A_1—A_2$ a $A_3—A_4$ můžeme použít lustrové kolíbkové dvojité spínače). Potenciometry P_1 a P_2 vestavíme buďto do téhož panelu (obr. 16a), nebo mimo panel (obr. 16b). Výhodnější je řešení podle obr. 16a, protože celé zapojení můžeme uzavřít do kovové krabičky a vyhnout se tak zbytečně vysoké hladině síťového brumu, která je obvyklá u nástrojů se špatně stíněnými manipulačními prvky.

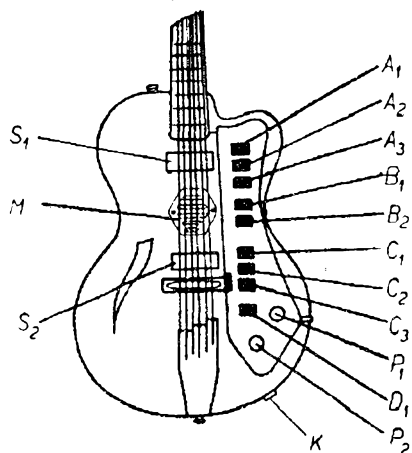
Nevýhodou zapojení podle obr. 14 a 15 je, že při přepínání nebo mixáži různých zvukových kombinací dochází k určitým změnám velikosti napětí výstupního signálu (při přepnutí některé rejstříkové kombinace klesne nebo stoupne náhle hlasitost nástroje). I když výkyvy hlasitosti lze do jisté míry kompenzovat technikou hry (popřípadě preventivně přizpůsobit volbu rejstříků dynamickému průběhu skladby), jde přece jen o omezení, které u jakostního nástroje neradi vidíme. Odpomoc je teoreticky snadná: stačí použít dynamicky vyvážené rejstříky, ovládané samovypínatelnými rejstříkovými spínači. Příklad jednoduššího zapojení tohoto druhu je na obr. 17. Zaměřme se při popisu nejprve na obvody



Obr. 18. Příklad konstrukce samovypínatelných rejstříkových spínačů. 1 - tlačítko spínače, 2 - ocelová pružina tlačítka, 3 - kulisa, 4 - pružina kulisy, 5 - kontaktní pružiny, 6 - plastěná podložka, 7 - kovová lišta (přitmelená k desce panelu), 8 - držák kulisy, 9 - spojení tmelem

a) pohled na základní součásti spínačů;
b) praktická konstrukce spínače širšího tvaru

snímačů S_1 a S_2 . Signál ze snímače S_1 prochází obvody rejstříků ovládaných rejstříkovými spínači A_1 až A_3 . Spínačem A_2 ovládáme výškový rejstřík, který dává kovově zabarvený ostrý tón. Výškový rejstřík má však jistý útlum, proto vyvažujeme zbývající dva rejstříky potenciometrickými trimry na vyrovnanou hlasitost (uměle zvětšujeme jejich útlum). Podobně jsou řešeny i rejstříky snímače S_2 . Zde jsme však neuplatnili hloubkový rejstřík, který by za daných okolností neměl nápadnější zvukové zabarvení.



Obr. 19. Ukázka praktického uspořádání elektrické výstroje kytary podle zapojení z obr. 17

Novinkou v zapojení na obr. 17 je mikrofonní kytarový snímač. O výhodách elektroakustického snímání jsem se zmínil již dříve. Je samozřejmé, že tento druh snímání je opodstatněný jen u nástrojů s ozvučnicí. Pro elektrofonickou kytaru s trupem z plného materiálu nepřichází mikrofonní snímač vůbec v úvahu (můžeme jej však beze změny zapojení nahradit třetím elektromagnetickým snímačem). Mikrofonní snímač v zapojení podle obr. 17 je určen výhradně pro doprovodnou hru, která je méně náročná na jeho citlivost. V našem případě citlivost mikrofonu uměle snížíme tím, že jej vložíme do perforovaného pouzdra, vyloženého oboustranně vatou. Tím současně zajistíme měkké uložení mikrofonu v nástroji, takže bude mnohem méně citlivý k nežádoucím otřesům a vnějšímu hluku. Potenciometrem P_2 ještě podle potřeby snížíme citlivost mikrofonu na takovou úroveň, abychom jej mohli používat jako doprovodný snímač, který by měl proti snímačům S_1 a S_2 potlačenou hlasitost a jehož rejstříky by také byly navzájem dynamicky vyvážené.

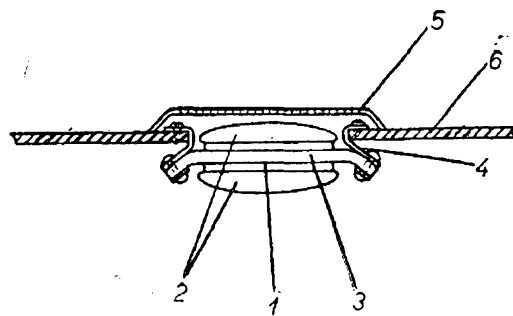
Požadavkem, který zapojení z obr. 17 komplikuje, je nutnost použít samovypínatelné rejstříkové spínače. Jsou to spínače vázané navzájem mechanicky tak, aby při sepnutí kteréhokoli z nich se samočinně rozpojil ten, který byl předtím v sepnutém stavu. Takové řešení

umožňuje velmi hbité přepínání rejstříků během hry. Podobně jsou ovládány rejstříky akordeonů nebo funkční přepínače některých moderních rozhlasových přijímačů, televizorů apod.

Jednoduché řešení mechanicky vázaných samovypínatelných rejstříkových spínačů ukazuje obr. 18a. Tlačítko spínače je z libovolného materiálu, z hlediska stínění je však výhodný leštěný hliník, niklovaná mosaz apod. Na čelní straně tlačítka 1 je vyfrézován zoubek, do něhož při stisknutí zapadne kulisa 3. Při stisknutí jednoho z tlačítek se současně uvolní tlačítko, které bylo kulisou přidržováno dosud. Princip je patrný z náčrtku. K praktické konstrukci spínačů není třeba udávat bližší rozměry. Jistě bude výhodné postavit celý rejstříkový panel co nejmenší. Malé rozměry jednotlivých součástí budou však vyžadovat značnou přesnost provedení.

Obr. 18b dává podrobnější přehled o praktickém uspořádání rejstříkových spínačů. Vzhledem k tomu, že podle zapojení z obr. 17 potřebujeme pod každým tlačítkem dvojici kontaktů, uděláme tlačítko tak široké, aby se pod ně vedle sebe směstnaly dva páry kontaktních pružinek (na obr. 18b detail pohledu shora).

Na obr. 19 je pohled na celkové uspořádání rejstříkových spínačů, které jsou na společném panelu s oběma potenciometry. Potenciometr P_2 může být knoflíkového typu. Mikrofon M je vestavěn uprostřed mezi oběma elektromagnetickými snímači. V kytáře je pro mikro-

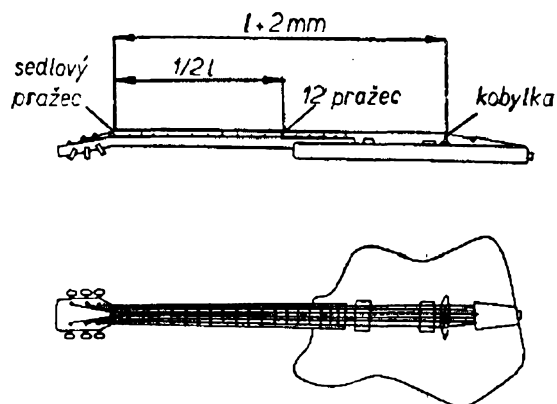


Obr. 20. Instalace mikrofonního kytarového snímače. 1 – mikrofonní krystalová vložka, 2 – vatový obal, 3 – mechová guma, 4 – hliníkové přichytky, 5 – kryt mikrofonu, 6 – ozvučná deska nástroje

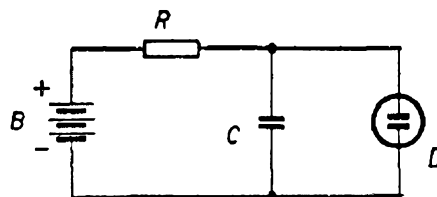
fonní snímač odvrtnán a vyříznut otvor, jehož průměr je o něco větší než průměr použité mikrofonní vložky. Vložku uchytíme v horní desce ozvučnice mechovou gumou, upevněnou malými hliníkovými příchytkami podle obr. 20. Celý mikrofonní snímač zakryjeme děrovaným krytem libovolného tvaru.

Zbývá ještě povědět si něco o stavbě zbrusu nové elektrofonické kytary. Bylo by však neúčelné zabývat se příliš podrobně uspořádáním základních součástí. Mnohem jednodušší bude, prohlédne-li si zájemce nejprve nějaký hotový tovární výrobek a na něm se seznámí se všemi podrobnostmi mechanické stavby nástroje. Tvarové řešení nástroje amatérské výroby se samozřejmě může velmi výrazně lišit od tradičních modelů. Musíme však za všech okolností dodržet správnou vzdálenost kobylky od sedlového pražce. Je to dvojnásobek vzdálenosti mezi sedlovým (prvním) pražcem a dvanáctým pražcem nástroje. Podle druhu použitých strun a jejich výšky nad hmatníkem přidáme k základní aktivní délce strun asi 1 až 2 mm pro kompenzaci ladění při hře na strunách přitisknutých k pražcům (obr. 21).

Tím jsme vcelku vyčerpali problematiku stavby a přestavby elektrofonických kytar. Zbývá dodat, že všechny tyto poznatky můžeme jen s malými obměnami aplikovat i při stavbě a přestavbě řady jiných strunných nástrojů, jako jsou elektrofonická kytarbaso nebo kontrabas, housle apod.



Obr. 21. – Vzdálenost kobylky kytary od sedlového pražce



Obr. 22. Relaxační oscilátor s doutnavkou
D – doutnavka, B – baterie, C – kondenzátor, R – odpor

Elektrické hudební nástroje s elektronickým zdrojem tónu

Hudebním nástrojům této kategorie říkáme elektronické. Zatímco u tradičních hudebních nástrojů je tón vytvářen výhradně mechanickou cestou, tj. chvěním nějaké hmotné soustavy (struny, jazýčku, sloupce vzduchu apod.), u elektronických hudebních nástrojů je vytvářen cestou ryze elektrickou. Úlohu jazýčku nebo struny přejímá elektronka, polovodič nebo doutnavka, která se v určitém zapojení stává oscilátorem elektrických kmitů zvukového kmitočtu.

Nejlépe poslouží praktický příklad nejednoduššího oscilátoru: oscilátoru s doutnavkou. Zapojení doutnavkového oscilátoru je velmi jednoduché (obr. 22). Přes odpor R se nabíjí kondenzátor C . Jakmile napětí na kondenzátoru C dosáhne hodnoty zápalného napětí doutnavky, nastane v doutnavce výboj. Tím se kondenzátor přes doutnavku vybijí a doutnavka zhasne. V dalším cyklu se kondenzátor znovu začne nabíjet napětím přiváděným přes odpor R a celý proces se opakuje. Velikostí časové konstanty odporu R a kondenzátoru C je dán kmitočet doutnavkového oscilátoru. Tolik zatím pro základní představu o tom, proč elektronické nástroje nepotřebují žádné kmitající mechanické prvky (později se celou problematikou budeme zabývat podrobněji).

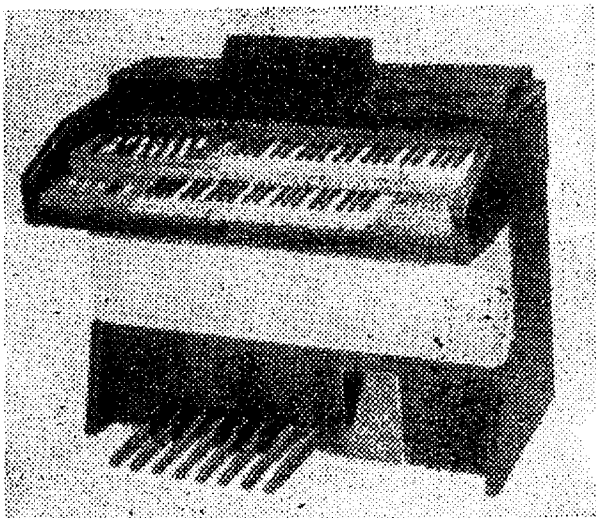
Zatím se vžilo, že se profesionální elektronické hudební nástroje staví výhradně s ovládáním klávesnicí. Klávesnice je buďto klavírového (varhanového) nebo

akordeonového typu. U elektronických varhanových nástrojů bývá také obvyklý pedál (obr. 23), který se však uplatňuje převážně jen při sólové hře. Proto se většina elektronických nástrojů staví bez tradičního pedálu. Příkladem takové zjednodušené koncepce jsou tři alternativy profesionálních výrobků „Matador“ na obr. 24, 25 a 26.

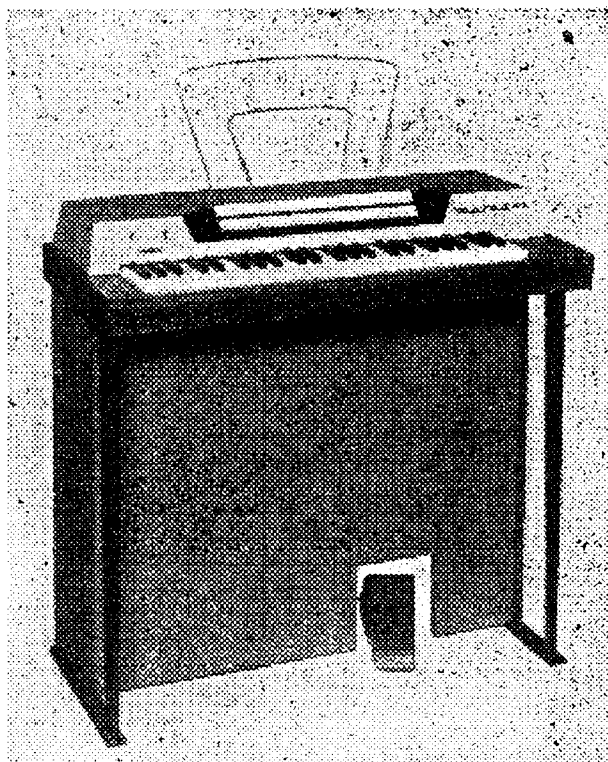
Tolik tedy úvodem k osvětlení některých pojmů. Dovedeme si již představit, jak vypadá elektronický oscilátor tónových kmitů (zatím s touto představou vystačíme), prohlédli jsme si několik alternativ praktické konstrukce takových nástrojů a zbývá ještě objasnit si funkci klávesnice.

Zatímco u tradičních hudebních nástrojů ovládáme klávesnici klávkem nebo klapky nástroje, u elektronických hudebních nástrojů jimi ovládáme klávesové spínače, řešené nejčastěji jako svazky kontaktních pružin.

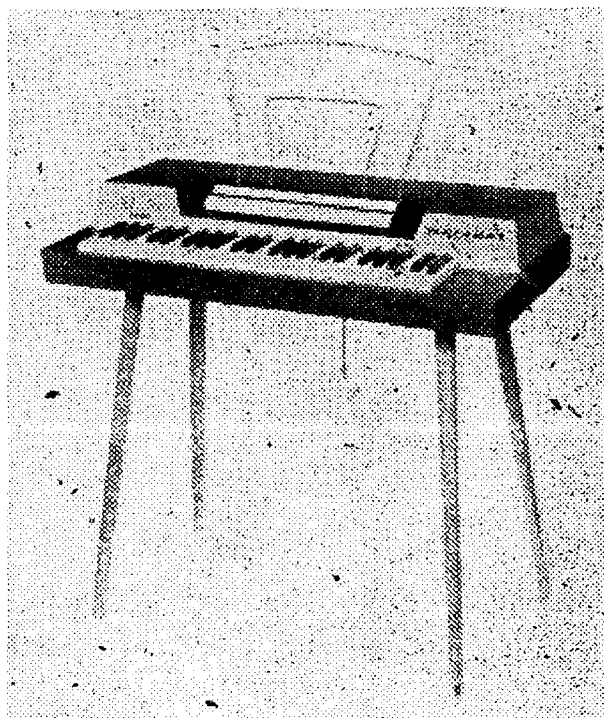
Činnost klávesy si můžeme pro základní představu opět osvětlit na doutnavkovém tónovém generátoru, který jsme si na obr. 27 doplnili klávesovým spínačem. Klávesový spínač S je ovládán klávesou K. Předpokládejme, že máme nějaký elektronický nástroj s rozsahem dvou oktáv, tj. 24 tóny. Takový nástroj by měl v našem případě obsahovat 24 doutnavkových oscilátorů. Každý z nich by byl naladěn na tón odpovídající příslušné



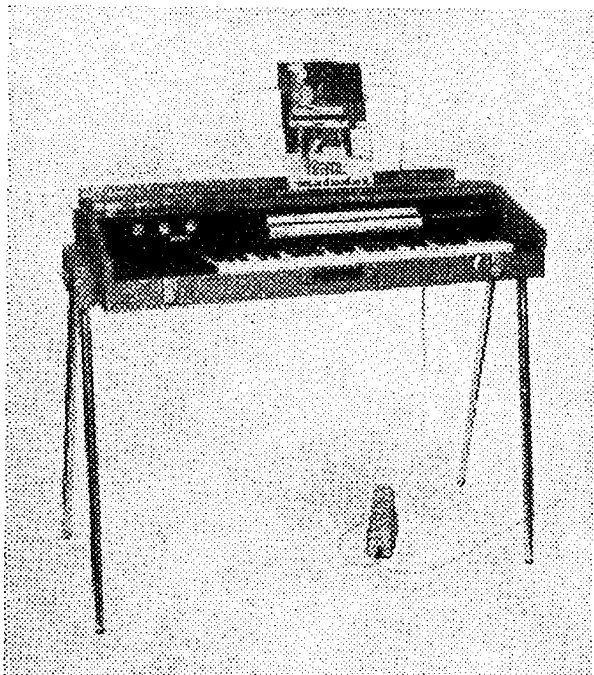
Obr. 23. Tranzistorové varhany HOHNER – SYMPHONIC 700 (NSR)



Obr. 24. Tranzistorový mnohohlasý nástroj MATADOR (výrobek firmy F. A. Böhm, Klingenthal, NDR)



Obr. 25. Nástroj MATADOR v provedení bez reproduktorové skříně



Obr. 26. MATADOR v kufříkové verzi

klávese. Kdybychom stiskli libovolnou klávesu nástroje, rozkmital by se příslušný oscilátor a jeho kmity by byly přiváděny na vstup nějakého elektronického nízkofrekvenčního zesilovače. Z reproduktoru zesilovače by se ozval hudební tón, nebo při současném stisknutí více kláves souzvuk několika tónů. Celkem jednoduchá záležitost, že? Kámen úrazu je však v tom, že nástroj postavený podle našeho příkladu by ani podprůměrně náročné hudebníky příliš neuspokojil a mohl by sloužit jen k experimentálním účelům. Zvolili jsme tento příklad jen proto, že umožňuje vysvětlit i méně zkušeným čtenářům srozumitelně princip činnosti elektronického mnohohlasého nástroje. Skutečná konstrukce mnohohlasých (polyfonních) elektronických nástrojů je mnohem složitější a později si ještě podrobněji probereme různá zapojení.

Kromě mnohohlasých elektronických nástrojů se používají i četné nástroje jednohlasé (monofonní). Jsou řešeny buďto jako samostatné melodické, popřípadě basové nástroje, nebo jako doplňky tradičních neelektrických hudebních nástrojů.

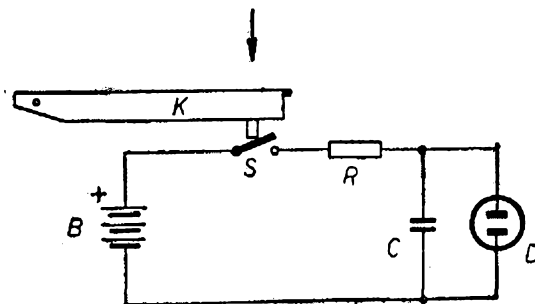
Někteří hudebníci odsuzují jednohlasé nástroje jenom proto, že u tradičních hu-

debních nástrojů klávesového typu nebývá zvykem omezení na jednohlasou hru. Uvážíme-li však, že celá řada klasických hudebních nástrojů také neumožňuje mnohohlasou hru (a není proto zahrnována), bylo by nelogické vidět v jednohlasém elektronickém nástroji nějaký méněcenný hudební nástroj.

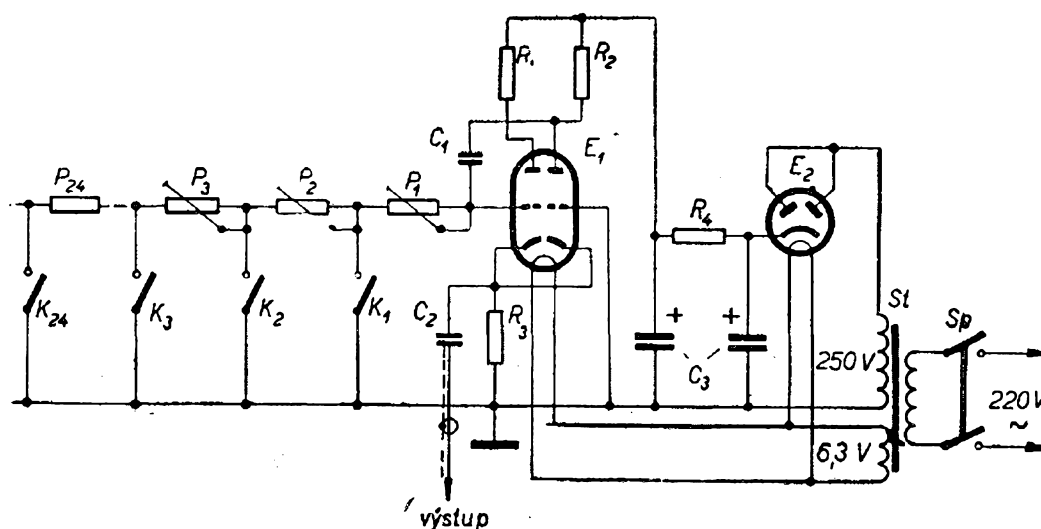
Jednohlasé hudební nástroje najdou velmi široké uplatnění prakticky ve všech hudebních stylech. Kromě toho, že jsou nesrovnatelně levnější než elektronické nástroje mnohohlasé, spočívá jejich hlavní výhoda v tom, že se dají poměrně snadno amatérsky postavit, protože v jednodušším provedení nekladou přílišné nároky na odborné schopnosti a zkušenosti.

Jednohlasý nástroj má jen jediný oscilátor, který můžeme v rozmezí potřebného tónového rozsahu přeladovat. Ladicím prvkem bývá obvykle proměnný odpor nebo kondenzátor, který se k příslušnému obvodu oscilátoru připojuje sepnutím klávesového spínače. Zapojení jednohlasých nástrojů je řešeno zpravidla tak, aby při současném stisknutí několika kláves nástroje zněl jen nejnižší nebo nejvyšší z tónů.

V principiálním zapojení celé řady obvodů mnohohlasých a jednohlasých nástrojů není v podstatě příliš velký rozdíl a to je z hlediska amatérského experimentování značná výhoda. Zájemce o mnohohlasý elektronický nástroj se může nejprve „vyučit“ při stavbě různých jednohlasých nástrojů a získané zkušenosti pak uplatnit při stavbě nástroje mnohohlasého. Postavení mnohohlasého nástroje není však z hlediska amatérských konstrukcí jen záležitostí materiální



Obr. 27. Princip klíčování elektronického oscilátoru



Obr. 28. Jednohlasý elektronkový nástroj

Součástky: R_1, R_2 – 27k až 39k/0,25 W, R_4 – 3k9 až 6k8/0,25 W, R_5 – 1k až 2k2/0,5 W, C_1 – 10k až 22k/250 V, C_2 – 3k3 až 10k/160 V, C_3 – $2 \times 32M$ až $2 \times 50M/350$ V, E_1 – ECC82 (nebo ECC81, ECC85, ECC42, 6CC31 apod.), E_2 – EZ80 (nebo 6Z31, AZ1, AZ11 apod.), St – síťový transformátor libovolného typu se sekundárním napětím kolem 250 V/10 mA a 6,3 V 1 A, potenciometrické trimry P_1 až P_8 – 2k2 až 4k7, P_9 až P_{13} – 6k8 až 10 k, P_{14} až P_{20} – 15 k až 22k, P_{21} až P_{27} – 22k až 33k, P_{28} až P_{38} – 47k až 68k, od P_{38} výše 68k až M1 atd. (v rozmezí těchto tolerancí zapojení spolehlivě pracuje)

a technické základny; musíme také pečlivě zvážit výhledovou užítkovost nástroje. Staví-li si takový nástroj nehudebník, hrozí nebezpečí, že do domácnosti přibude jen kus překážejícího nábytku. V tomto směru mají však jednohlasé nástroje velkou výhodu v tom, že se na ně i nehudebník naučí velmi brzy hrát. Později se ještě zmíníme o tzv. Heroldově klaviatuře, která umožňuje hrát beze změny prstokladu ve všech tóninách.

Jednohlasý elektronkový nástroj pro začátečníky

Mezi nejjednodušší elektronkové hudební nástroje patří bezpochyby jednohlasý nástroj v zapojení podle obr. 28. Elektronka (dvojité trioda) je zapojena jako tzv. katodově vázaný multivibrátor. Tento druh oscilátoru je zvláště pro začátečníky velmi výhodný, protože spolehlivě kmitá bez ohledu na jakost a rozmístění součástí. Také tolerance součástí mohou být velmi široké, jak vyplývá z rozpisky pod obrázkem 28.

Nejnákladnější částí celého zařízení je síťová část. Mírně zkušeni začátečníci mohou ovšem odebírat potřebná napětí přímo z rozhlasového přijímače, do jehož gramofonového vstupu současně připojí výstup z nástroje. Spotřeba našeho hudebního nástroje je tak nepatrná, že jím žádný rozhlasový přijímač nepřetížíme, i kdyby byl dimenzován s minimální rezervou (z bezpečnostních důvodů však nesmíme nástroj napájet z univerzálního rozhlasového přijímače, tj. přijímače bez síťového transformátoru!).

Obr. 29 ukazuje praktické zapojení nástroje. Objímka elektronky je kreslena v pohledu zdola. Pro lepší přehled uspořádání součástí (zejména vývodů síťového transformátoru) je celé zapojení kresleno tak, jako by bylo ve vzduchu. Mylně by si to však mohl někdo z čtenářů vykládat jako návod k bleskové stavbě. Ve skutečnosti dáme rozhodně přednost šasi z plechu, překližky, pertinaxu apod. Jak jsme si již řekli, na uspořádání součástí příliš nezáleží a rozměry šasi mohou být také libovolné.

Stavba nástroje je tak jednoduchá, že

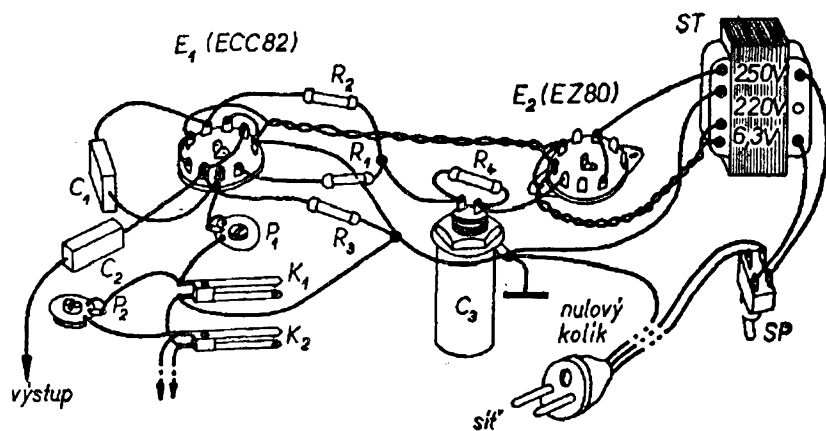
k ní není co dodat. Budeme-li se držet návodu a nebudou-li použité součástky vadné, neměli bychom zažít při uvádění nástroje do chodu zklamání. Při uvádění do chodu postupujeme takto: nejprve připojíme výstup nástroje (stíněným kablíkem) ke vstupu zesilovače, popřípadě ke gramofonovému vstupu rozhlasového přijímače. Pak zapneme spínač síťového přívodu SP a stiskneme první klávesový spínač K_1 (může být nahrazen obyčejným páčkovým spínačem apod.). Jakmile se nažhaví usměrňovací elektronka a elektronka oscilátoru, ozve se z reproduktoru tón. Výšku, tj. kmitočet tónu budeme moci v poměrně širokém rozmezí měnit potenciometrickým trimrem P_1 (vytočíme-li běžec tohoto trimru do levé krajní polohy, oscilace vysadí).

Ladicí potenciometrické trimry P_2 , P_3 , P_4 atd. můžeme nahradit obyčejnými vrstvovými odpory, má-li nástroj sloužit jen k prvním ověřovacím pokusům. Jinak dáme podle možnosti přednost potenciometrickým trimrům, které budeme moci použít také při stavbě některých dalších nástrojů tohoto druhu. Pokud bychom měli po ruce jiné hodnoty potenciometrických trimrů než stanoví rozpiska součástek, můžeme je použít, změníme-li současně hodnotu kondenzátoru C_1 . Správnou hodnotu tohoto kondenzátoru najdeme zkusmo. Použijeme-li potenciometrické trimry vyšší hodnoty než stanoví rozpiska, nahradíme původní kondenzátor C_1 menším kondenzátorem a naopak. Nejvýhodnější je taková hodnota kondenzátoru C_1 , při níž budou běžce potenciometrických trimrů přibližně uprostřed odporové dráhy.

Důvod je logický: kdyby byl běžec potenciometru podle obr. 28 v pravé krajní poloze, nezbyvala by nám potřebná rezerva doladění. Kdyby byl naopak jen nedaleko začátku odporové dráhy (kdyby příliš malá výchylka běžce stačila k naladění tónu), byl by nástroj příliš náchylný k rozladění vlivem sebemenších otřesů. To by byla velmi nežádoucí vlastnost zvláště u dokonalejších hudebních nástrojů, které budeme takto ladit.

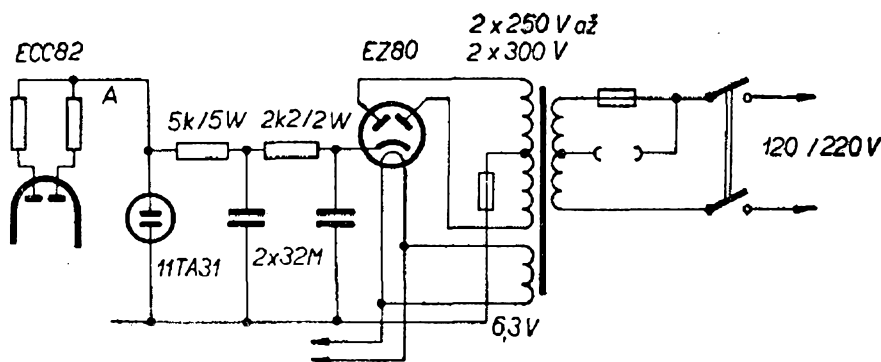
Zkušenějším čtenářům není třeba příliš dokazovat, že nástroj zapojený podle obr. 28 a 29 může mít jen experimentální poslání. Chybí zde totiž celá řada obvodů, které mohou udělat z laditelného oscilátoru opravdový elektronický hudební nástroj. Jestliže jsme se tedy snažili poskytnout začátečníkům jednoduchý stavební návod, který by jim pomohl překonat úskalí prvních krůčků, neznamená to ještě, že jsme se tím vypořádali jednou provždy se všemi problémy jednohlasých elektronických nástrojů.

Již několik prvních hodin provozu našeho jednoduchého nástroje ukáže nedostatečnou stabilitu jeho ladění, které bude velmi citlivé na výkyvy napájecího napětí. Běžně se tomu dá zabránit přidáním stabilizátoru anodového napětí, jehož zapojení je na obr. 30. Doutnavkový stabilizátor napětí 11TA31 vyrovnává výkyvy síťového napětí a udržuje tím v bodě A stálou hodnotu anodového napětí oscilátoru. Jde o zcela běžné zapojení, s nímž se setkáváme u většiny profesionálních výrobků. Nedostatek zapojení z obr. 30 je však v tom, že není současně stabilizováno i žhavicí napětí elektronky oscilátoru. Většinou však



Obr. 29. Názorné zapojení nástroje z obr. 28

Obr. 30. Stabilizace anodového napětí tónového oscilátoru



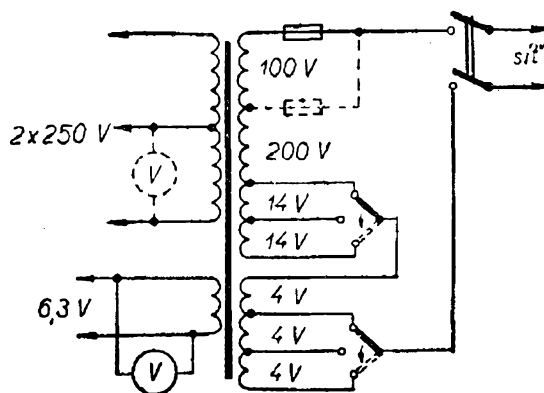
nejsou výkyvy síťového napětí natolik výrazné, aby se vliv změny žhavicího napětí projevil jako znatelné rozladění nástroje. Proto se u řady dalších popisovaných nástrojů spokojíme s doutnavkovou stabilizací, která je levná a provozně dostatečně spolehlivá. Přesto je však ještě jedno řešení, které se u amatérských hudebních nástrojů dobře osvědčilo: napájecí síťový transformátor s přepínáním odboček na primáru a s kontrolním voltmetrem na sekundáru. Takové zapojení nebude sice mnoho platné v místech, kde jsou výkyvy síťového napětí časté, velmi dobře však vyhoví ve většině případů k základnímu nastavení přesného napětí, které můžeme podle potřeby kontrolovat a seřizovat i v přestávkách mezi hrou. Příklad jedné z možností praktického řešení je na obr. 31. Doplníme-li takovým transformátorem zapojení z obr. 30, popřípadě kterékoli jiné zapojení síťového napáječe elektronického hudebního nástroje, budeme mít zaručenu velmi dobrou stálost kmitočtu oscilátoru.

Další nevýhodou nástroje podle obr. 28 a 29 je kmitočtová závislost oscilátoru na zátěži výstupu. Jednak je tím znemožněno připojovat nástroj k různým zesilovačům, jednak není možné doplnit nástroj na výstupní straně obvyklými formantovými rejstříky. Odpomoc je však snadná: stačí zapojit mezi oscilátor a výstup další elektronkový oddělovací stupeň, který odstraní zpětný vliv elektrických změn, k nimž bude docházet v obvodech mimo vlastní oscilátor. Oddělovacím stupněm může být například jakýkoli jednostupňový elektronkový zesilovač s triodou nebo pentodou. K praktickému zapojení se vrátíme později. Zatím si zrekapitulu-

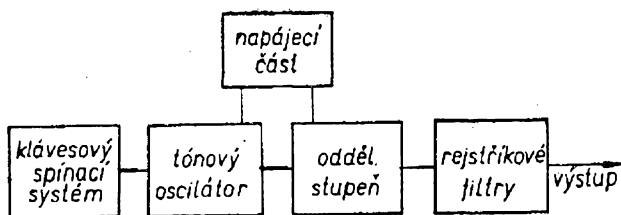
jeme některé nové poznatky na tzv. blokovém schématu jednotlivých funkčních dílů nástroje (obr. 32). Obsírnější komentář by byl zbytečný. Jediným novým funkčním dílem je na tomto blokovém schématu rejstříková část. Zatím si jen řekneme, že zapojení rejstříkové části může být zcela shodné se zapojením rejstříku elektrofonických kytar (obr. 15 nebo 17).

Významným obohacením zvuku elektronických hudebních nástrojů je zavedení vibráta, jímž kmitočtově i amplitudově modulujeme základní hudební tón. Tímto efektem se tón elektronického nástroje přiblíží charakteristickému tónu elektronických varhan.

Vibrátový kmitočet získáváme u elektronických nástrojů ze samostatného vibrátového oscilátoru. Jak si později na praktických příkladech ukážeme, může být oscilátor vibráta zapojen buďto jako katodově vázaný multivibrátor, nebo může pracovat v libovolném jiném zapojení, které je schopné vytvářet vibrátový kmitočet (hudebně nejpůsobi-



Obr. 31. Síťový transformátor s přepínáním odboček na primáru



Obr. 32. Blokové schéma funkčních dílů jednohlasého elektronického nástroje

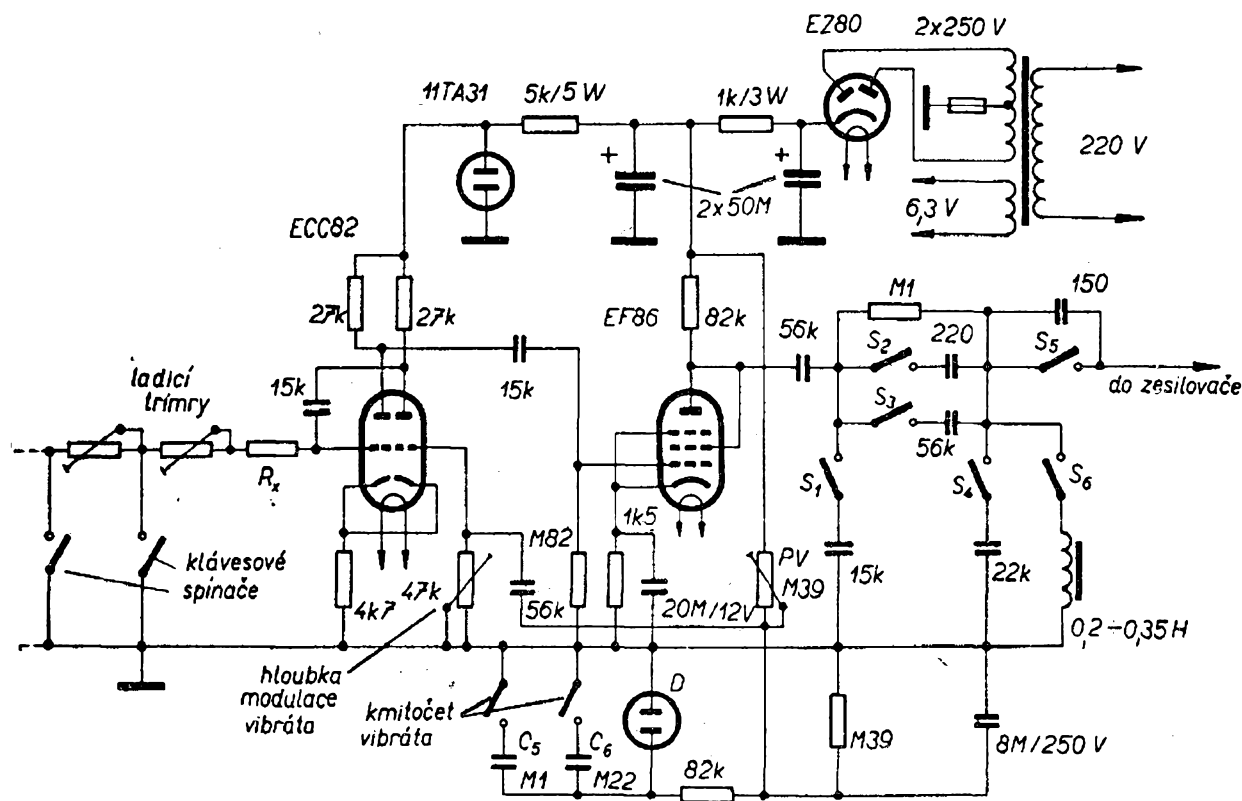
vější je vibráto o kmitočtu 6 až 8 Hz). Nejjednodušší vibrátový oscilátor získáme využitím zapojení z obr. 22. Doutnavkové oscilátory nemívají sice přílišnou stabilitu, ale pro náš záměr takový oscilátor stačí, protože jeho kmitočet budeme moci kdykoli podle potřeby doladit, aniž by tím byla nepříznivě ovlivněna funkce nástroje.

Konečné zapojení našeho jednoduchého elektronického hudebního nástroje je na obr. 33. Porovnáme-li je se zapojením na obr. 27, zjistíme, že zde nedošlo k příliš

podstatným změnám. Vlastní tónový generátor s řetězcem ladicích prvků zůstal nedotčen. V napájecí části přibyl doutnavkový stabilizátor podle obr. 30. Výstup tónového oscilátoru vedeme z anody na mřížku následujícího oddělovacího stupně. Odtud přichází signál přes jednoduché rejstříky do zesilovače.

Doutnavkový oscilátor kmitá v rozsahu asi od 3 do 15 Hz. Hranice kmitočtového rozsahu vibráta posuneme záměnou hodnot kondenzátorů C_5 a C_6 , které přemostují doutnavku vibráta (čím větší budou oba kondenzátory, tím nižší bude kmitočet vibráta a naopak).

Výhodou doutnavkového oscilátoru je nenáročné zapojení, které dovoluje použít prakticky libovolnou doutnavku. Dobře se zde osvědčily doutnavky z tužkových zkoušeček fáze. Také obyčejné signalizační doutnavky dávaly ve většině případů uspokojivé výsledky. Některé z těchto doutnavek nevyhověly; nezbylo než je vyměnit a zkusmo vybrat z něko-



Obr. 33. Jednohlasý nástroj s vibrátem a oddělovacím stupněm. D – doutnavka vibrátového oscilátoru, PV – potenciometrický trimr k nastavení napětí vibrátové doutnavky, S_1 až S_6 – spínače rejstříků

lika doutnavek takovou, která byla ochotna nasadit oscilace.

Doutnavkový oscilátor vibráta uvádíme do chodu tak, že potenciometrickým trimrem *PV* (obr. 33) doutnavku nejprve „zhasneme“ vytočením běžce do levé krajní polohy (maximální odpor). Pak pomalým otáčením zmenšujeme odpor *PV* a hlídáme okamžik, kdy začne doutnavka blikat. Doutnavka bude blikat jen ve velmi malém rozsahu dráhy běžce. Budeme-li potenciometrický trimr vytáčet dále, doutnavka přestane kmitat a nastane v ní trvalý výboj. Půjde tedy o to, najít správnou polohu běžce *PV* na rozhraní obou krajních provozních stavů doutnavky (světla a tmy). U některých starších doutnavek se může stát, že přejdou ze zhasnutého stavu přímo do trvalého výboje, aniž by na rozhraní obou těchto stavů jevíly sklon k oscilacím. V takovém případě musíme doutnavku vyměnit. Významnou předností doutnavkového oscilátoru je, že jeho oscilace jsou vidět; to značně zkrátí dobu počátečního experimentování. Kromě toho můžeme doutnavku vibráta instalovat na hudebním nástroji tak, aby současně plnila funkci indikátoru vibráta, to znamená signalizovala nejen okamžitý provozní stav vibráta (zapnuto – vypnuto), ale také jeho kmitočet, který se dá sledovat pouhým okem.

Oddělovací stupeň tohoto nástroje nemá v zapojení žádné záludnosti. V této úloze vyhoví libovolná nízkofrekvenční pentoda (pro jednoduchost je zde zapojena jako trioda).

Na oddělovací stupeň navazují jednoduché rejstříky, které se později dají doplnit dalšími: bude jich na dalších stránkách ještě dostatek (tj. vypůjčíme si je z jiných popisovaných nástrojů). Pro počáteční fázi experimentů postačí však náš nástroj bez jakýchkoli přidavných úprav. Později bychom si jej mohli doplnit zapojením pro blokování přechodových jevů, které působí rušivý praskot při rozepínání klávesových kontaktů. Takové zapojení najdeme např. u čtyřhlasého elektronického nástroje na obr. 60. Bude vyžadovat jen malou úpravu našeho oddělovacího stupně a přidání dalších klávesových kontaktních pružin.

Až dosud jsme se zabývali jen popisem elektronické části nástroje, ale o klávesnici s příslušnými kontakty jsme zatím nemluvili. Bylo by nesprávné z toho vyvozovat, že jde o podružnou část nástroje. Právě naopak! Dokonalá klá-

VELKÁ OKTÁVA	C - 65,41 Hz	Cis - 69,30 Hz
	D - 73,42 Hz	Dis - 77,78 Hz
	E - 82,41 Hz	
	F - 87,31 Hz	Fis - 92,50 Hz
	G - 98,00 Hz	Gis - 103,86 Hz
MALÁ OKTÁVA	A - 110,00 Hz	B - 116,54 Hz
	H - 123,47 Hz	
	c - 130,81 Hz	cis - 138,59 Hz
	d - 146,83 Hz	dis - 155,76 Hz
	e - 164,81 Hz	
JEDNOČÁRKOVANÁ OKTÁVA	f - 174,61 Hz	fis - 185,00 Hz
	g - 196,00 Hz	gis - 207,65 Hz
	a - 220,00 Hz	b - 233,08 Hz
	h - 246,94 Hz	
	c' - 261,63 Hz	cis' - 277,18 Hz
DVOUČÁRKOVANÁ OKTÁVA	d' - 293,66 Hz	dis' - 311,13 Hz
	e' - 329,63 Hz	
	f' - 349,23 Hz	fis' - 369,99 Hz
	g' - 392,00 Hz	gis' - 415,30 Hz
	a' - 440,00 Hz	b' - 466,16 Hz
TŘÍČÁRKOVANÁ OKTÁVA	h' - 493,88 Hz	
	c'' - 523,25 Hz	cis'' - 544,37 Hz
	d'' - 587,33 Hz	dis'' - 622,25 Hz
	e'' - 659,26 Hz	
	f'' - 698,56 Hz	fis'' - 739,99 Hz
	g'' - 783,99 Hz	gis'' - 830,61 Hz
	a'' - 880,00 Hz	b'' - 932,33 Hz
	h'' - 987,77 Hz	
	c''' - 1046,5 Hz	cis''' - 1108,7 Hz
	d''' - 1174,6 Hz	dis''' - 1244,5 Hz
	e''' - 1318,5 Hz	
	f''' - 1396,9 Hz	fis''' - 1479,9 Hz
	g''' - 1567,9 Hz	gis''' - 1661,2 Hz
	a''' - 1760,0 Hz	b''' - 1864,6 Hz
	h''' - 1975,5 Hz	

Obr. 34. Kmitočty temperovaných tónů klávesnice hudebních nástrojů (tzv. temperované ladění se používá u všech klávesových nástrojů, zatímco u řady jiných hudebních nástrojů, jako jsou housle apod., lze pracovat s tóny tzv. čistého ladění)

vesnice může ze zapojení podle obr. 33 udělat seriózní hudební nástroj, zatímco sebejakostnější elektronické varhany budou se špatnou klávesnicí pouhou atrapou nástroje. To platí v plné míře i o klávesových kontaktech. Proto budeme později věnovat této konstrukční části nástroje samostatnou kapitolu.

Jednohlasý elektronkový nástroj s děliči kmitočtu

Než začneme hovořit o zapojení nástroje, vysvětlíme si nejprve, jak můžeme u elektronických hudebních nástrojů dosáhnout různého zabarvení tónu.

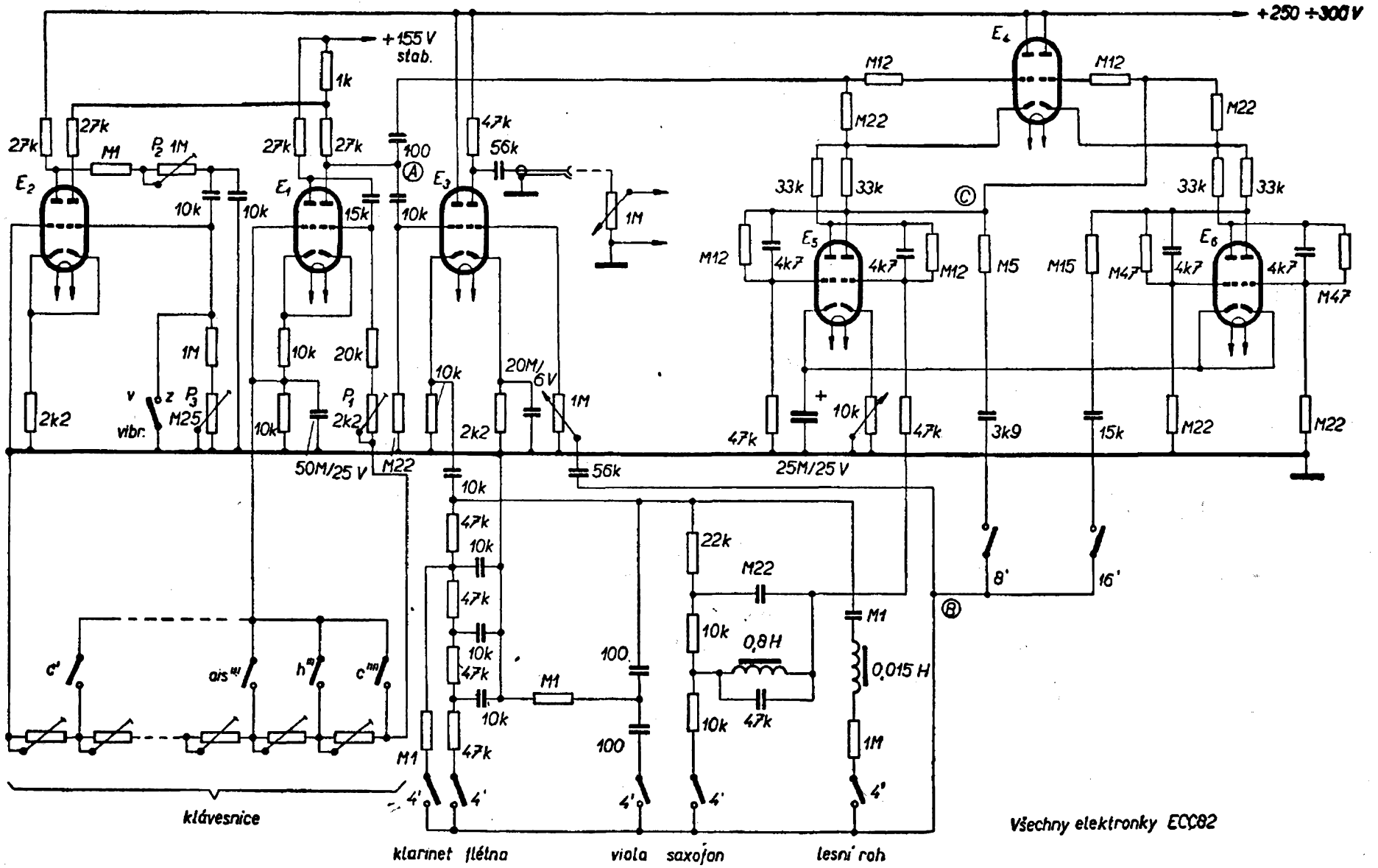
V úvodní kapitole jsme si řekli, že zabarvení hudebního tónu je dáno počtem a poměrem harmonických kmitočtů základního tónu. Na příkladu tradičních hudebních nástrojů jsme si vysvětlili, kde a jak harmonické kmitočty vznikají. Zatím však nevíme nic o tom, jak se podobné harmonické kmitočty vytvářejí u elektronických hudebních nástrojů. U elektronického nástroje podle obr. 33 jsme se setkali s několika rejstříkovými filtry, jimiž můžeme měnit zabarvení tónu. Dá se to vysvětlit tak, že se v rejstříkových filtrech nějakým způsobem vytvářejí harmonické kmitočty základního tónu? Nikoliv! Jak říká již název, může filtr obecně plnit jen úlohu jakéhosi třídiče. Všechno, co chceme třídit, musíme do třídiče přivádět. Chceme-li tedy, aby rejstříkové filtry plnily svou úlohu, nemůžeme do nich přivádět čistý sinusový kmitočet, ale musíme jim dodávat tzv. komplexní kmity. Komplexní kmity jsou takové, které kromě základního kmitočtu obsahují i jeho harmonické kmitočty. Matematicky lze dokázat, že takovými kmity jsou například kmity pilovité, obdélníkové a další, které jsou těmito dvěma tvarově podobné. Rejstříkový filtr dokáže některé z těchto kmitočtů potlačit více, jiné méně, takže harmonické složení výsledných vlnových průběhů se průchodem rejstříkovým filtrem více nebo méně mění. Celá záležitost je však komplikována tím, že základní kmitočet každého z komplexních kmitočtů elektronického nástroje není konstantní, protože výška

jednotlivých tónů zpracovávaných v rejstříkových filtrech se v poměrně velkém rozsahu mění. Kdybychom například požadovali od rejstříkového filtru, aby v souladu s tzv. formantovou teorií zpracovával jen komplexní kmity tónu jediného kmitočtu (např. komorního „a“ o kmitočtu 440 Hz), nebylo by technicky obtížné stanovit na základě výpočtu taková zapojení filtru, která by potlačovala tu či onu harmonickou složku. Daleko obtížnější je dosáhnout podobné funkce rejstříků v případech, kdy na jejich vstup přivádíme kmitočty navzájem odlišné nejméně o řád (u nástroje s rozsahem kolem čtyř oktáv).

Proto se musíme u rejstříkových filtrů smířit s tím, že budou jen nedokonale zpracovávat přiváděné komplexní vlnové průběhy.

U mnoha elektronických hudebních nástrojů se z tohoto důvodu používá jiný způsob vytváření tónových barev – harmonická syntéza. Při harmonické syntéze dosahujeme požadovaného tónového zabarvení souzvukem několika sinusových kmitočtů, které spínáme jednou klávesou. U složitějších nástrojů můžeme tímto způsobem přimísit k základnímu kmitočtu jeho druhou, třetí, čtvrtou, pátou, šestou a osmou harmonickou (sedmá harmonická je nelibozvučná) a podle potřeby i subharmonické apod. S tímto způsobem vytváření tónového zabarvení se setkáme např. v elektronických varhanách Hammond a v některých nákladných typech elektronických nástrojů. Je samozřejmé, že takový nástroj musí obsahovat tolik tónových generátorů, aby bylo možné obsadit jimi všechny složky harmonicky skládaných vlnových průběhů. To je ovšem velmi náročný požadavek, který nemohou plnit běžnější elektronické nástroje. Proto se v posledních letech rozšířilo u mnohohlasých elektronických nástrojů jiné, jednodušší řešení, které využívá kombinace harmonické syntézy a elektrických rejstříkových filtrů. Při tomto způsobu se na klávesové kontakty nástroje přivádějí tónové kmitočty komplexního vlnového průběhu, které se navzájem různě kombinují.

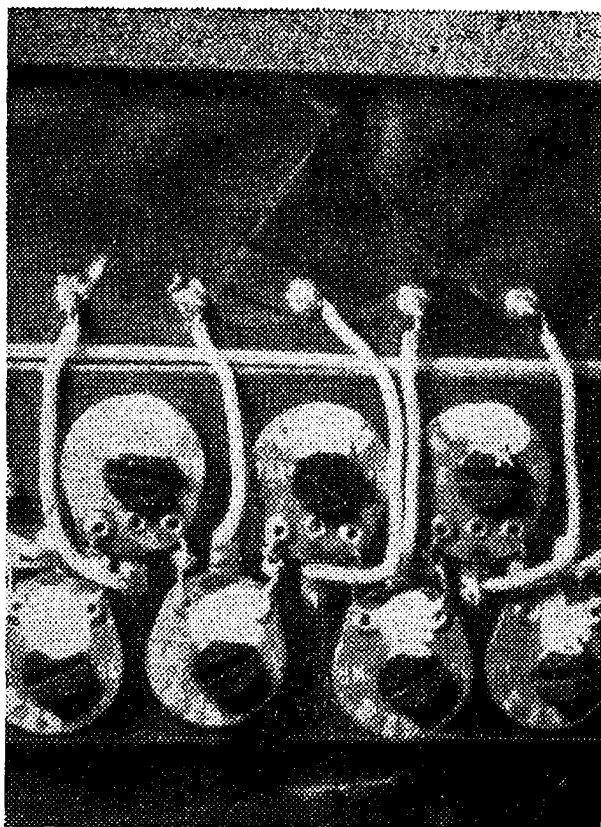
Přejdeme však od všeobecných informací k praktické ukázce. Na obr. 34 je



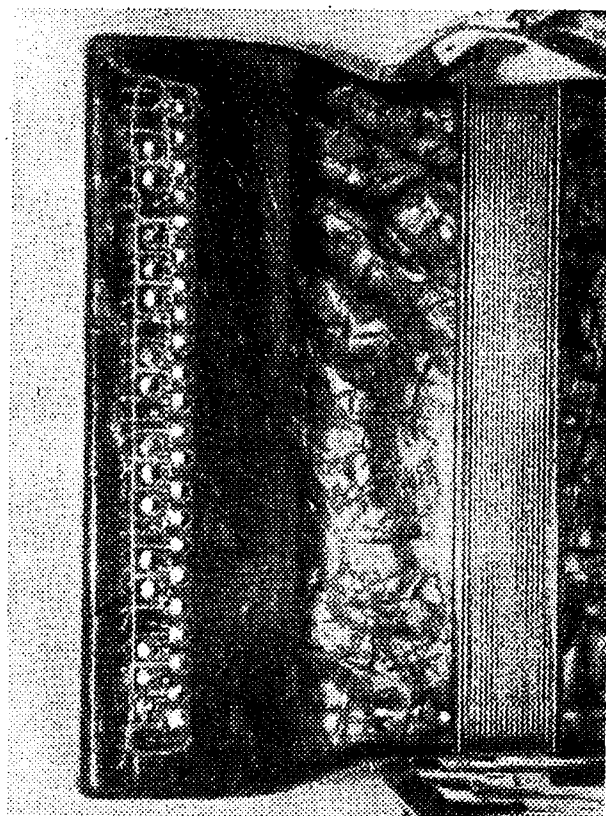
Obr. 35. Jednohlasý nástroj s děličí kmitočtu

Všechny elektronky ECC82

nakreslena klávesnice nástroje s rozsahem 5 oktáv. Každá z nich má dvanáct tónů. Názvy tónů se u jednotlivých oktáv cyklicky opakují. Z praxe víme, že jde vždy o tóny nestejně výšky, tj. nestejného kmitočtu. Na první pohled se kmitočty tónů jednotlivých kláves značně liší. Všimněme si však, že je zde dodržen jistý poměr kmitočtů. Tóny s intervalem jedné oktávy se navzájem liší poměrem kmitočtů 1 : 2. Tak například velké *A* má kmitočet 110 Hz, zatímco o oktávu vyšší malé *a* má kmitočet dvojnásobný, tj. 220 Hz. Vynásobíme-li kmitočet 220 Hz dvěma, dostaneme kmitočet jednočárkovaného (komorního) *a'*. Dvojcárkované *a''* má však pak kmitočet 880 Hz a třičárkované *a'''* 1760 Hz. Také pro ostatní tóny našeho temperovaného ladění platí, že tón o oktávu vyšší má vždy dvojnásobný kmitočet než tón, z něhož vycházíme. Jinými slovy: druhá harmonická tónu *a* je totožná s tónem *a'*, čtvrtá harmonická tónu *a* je totožná s tónem



Obr. 37. Detailní pohled na uspořádání ladicích prvků pod klávesnicí



Obr. 36. Akordeon s dodatečně vestavěnými klávesovými kontakty s ladicími potenciometrickými trimry

a''. To platí ve stejné míře i u ostatních tónů. Budeme-li tedy libovolně směšovat tóny stejného názvu, avšak nestejných výšek (odborně řečeno: tóny s oktávovými intervaly), dosáhneme poměrně velké pestrosti v zabarvení tónu.

Tyto poznatky jsou uplatněny u jednohlasého nástroje podle zapojení na obr. 35, který využívá multivibrátorových děličů kmitočtu [1]. Zapojení nástroje má několik nových prvků a proto si je probereme podrobněji. Začneme tónovým oscilátorem, osazeným elektronkou E_1 . Neliší se příliš od našeho oscilátoru z obr. 33. Je zde jen malá úprava v obvodu katody a klávesových kontaktních spínačů. Hodnoty ladicích potenciometrických trimrů jsou totožné s hodnotami na obr. 33.

Elektronka E_2 pracuje jako oscilátor vibrátového kmitočtu, který je také zapojen jako katodově vázaný multivibrátor. Potenciometrickým trimrem nastavíme zkusmo kmitočet vibráta hrubě a potenciometrem P_3 na manipu-

lačním panelu nástroje řídíme pak plynule kmitočt vibráta jemně v požadovaných mezích.

Anodový odpor pravé poloviny elektronky E_1 a anodový odpor pravé poloviny elektronky E_2 jsou napájeny ze společného bodu přes odpor 1k. Kmitočt vibrátového oscilátoru bude tedy i na anodě elektronky E_1 v podobě výkyvů úbytku napájecího napětí na odporu 1k. Tímto způsobem je tónový generátor modulován vibrátovým kmitočtem. Výstupní signál z tónového generátoru se dělí do dvou větví. Sledujme jeho cestu od bodu A : přes kondenzátor 10k přivádíme signál na mřížku oddělovacího stupně, jímž je levá trioda elektronky E_3 . Z katody elektronky přichází signál přes kondenzátor 10k do rejstříkových obvodů a z rejstříkových filtrů do bodu B . Zde jej zatím opustíme a vrátíme se k němu až později.

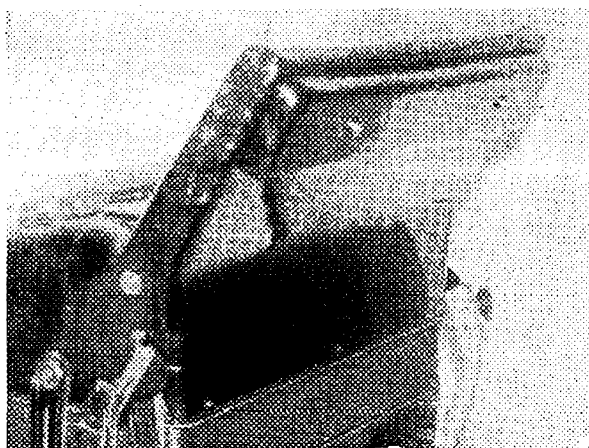
Nyní se znovu vrátíme k bodu A a podíváme se na horní větev výstupu signálu z tónového oscilátoru. Přes kondenzátor 100 pF vstupuje signál do prvního děliče kmitočtu, jehož součástí je levá trioda E_4 a multivibrátor osazený dvojitou triodou E_6 . Dělič kmitočtu dělí kmitočt přiváděných signálů v poměru 2 : 1. To znamená, že z děliče vycházejí tóny o oktávu nižší. Výstup z prvního děliče kmitočtu vede přes kondenzátor 47k, odpor M5 a další kondenzátor 3k3 na spínač 8' (jde o běžné označení tzv. osmistopého rejstříku, který je o oktávu nižší než rejstřík čtyřstopý). Ze spínače 8' postupuje signál do bodu B . Zde jej opět opustíme a vrátíme se zpět do bodu C . Zde došlo k rozdělení cesty výstupního signálu z prvního děliče. Horní větev výstupu odvádí signál do následujícího děliče. Z druhého děliče vystupuje opět signál o polovičním kmitočtu a je přiváděn rovněž do bodu B (tentokrát přes spínač 16'). V bodě B se směšují všechny tři signály s intervaly oktáv a vstupují přes kondenzátor 56k na mřížku předzesilovače, osazeného pravou triodou elektronky E_2 . Z anody elektronky přichází signál přes kondenzátor 56k na potenciometr, který slouží k regulaci výstupní hlasitosti (vyřešíme jej jako pedálový regulátor hlasitosti).

Napájecí část nástroje je shodná se zapojením na obr. 33. Anody tónového oscilátoru napájíme ze stabilizátoru. Ostatní elektronky jsou napájeny nestabilizovaným napětím z druhého filtračního elektrolytu.

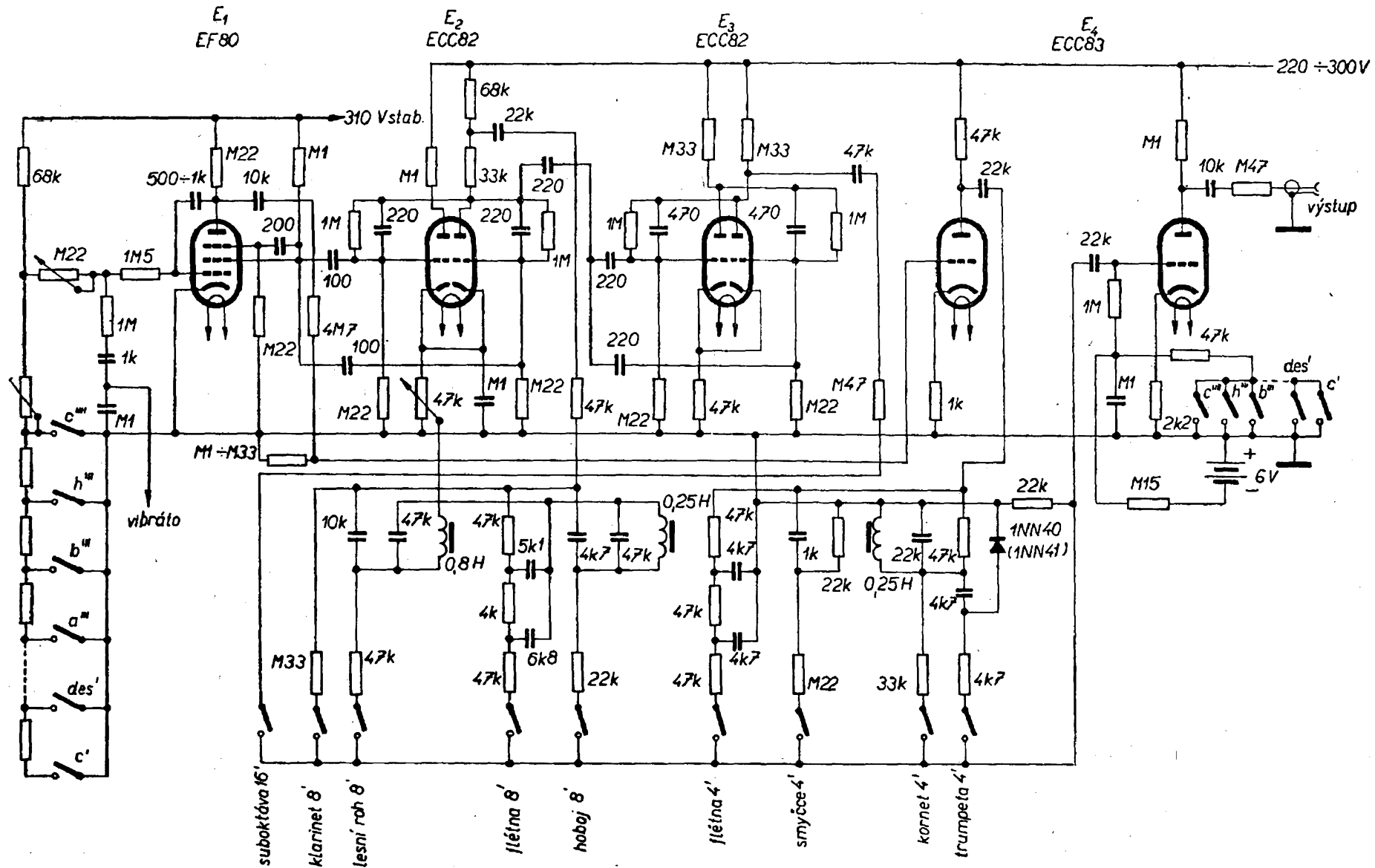
Zvukové kvality popisovaného nástroje jsou velmi dobré. Přestože jde jen o jednohlasý nástroj, můžeme jím nesmírně obohatit interpretaci téměř všech hudebních stylů.

Velmi dobré služby prokáže i jako přídatný nástroj v akordeonu apod. V tom případě postavíme vlastní elektronickou část do samostatného kufříku a kontaktnou část s ladicími potenciometrickými trimry přímo do nástroje (obojí propojíme stíněným kablíkem ukončeným konektory).

Budeme-li hledat nejvhodnější umístění klávesových kontaktů v běžném akordeonu, můžeme se rozhodnout buďto pro řešení podle obr. 61, tj. stěsnat kontakty a ladicí trimry pod příklopku, nebo provést na akordeonu malý „krvavý zásah“ a vestavět obojí pod klávesnici podle obr. 36 a 37. Většinou se nám asi nepodaří uspořádat kontakty a ladicí potenciometrické trimry tak, aby poněkud nepřecházely. Vypomůžeme si proto vydutým hliníkovým krytem podle obr. 38, který při hře na akordeon nijak nepřekáží (s podobným řešením se setkáváme i u některých zahraničních profesionálních výrobků).



Obr. 38. Konečný vzhled nástroje po přestavbě



Obr. 39. Nástroj s tranzitronovým oscilátorem

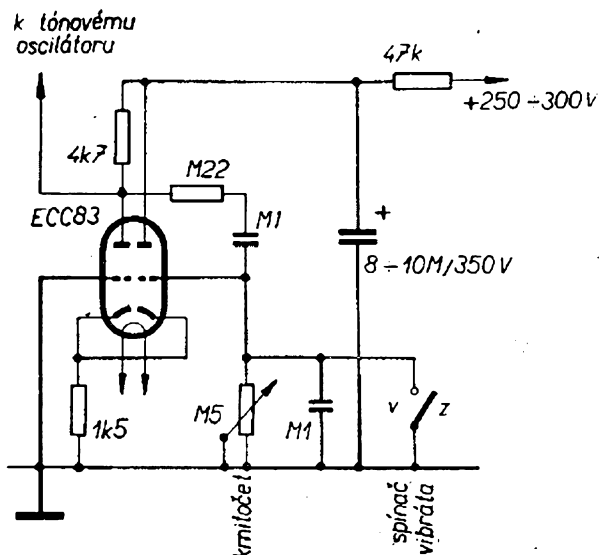
Jednohlasý elektronkový nástroj s tranzitronem

Jiné zapojení jednohlasého nástroje, vhodné pro amatérskou stavbu, najdeme na obr. 39 [2]. Od předcházejících zapojení se tento elektronkový nástroj liší především novým druhem oscilátoru a elektronickým blokováním přechodových jevů vznikajících při kláčení.

Tónovým generátorem je zde tzv. tranzitronový oscilátor osazený elektronkou EF80. Přes kapacitní dělič je do mřížky tónového generátoru modulováno vibráto (zapojení vibrátového oscilátoru je na obr. 40).

S katodově vázaným multivibrátorem má tranzitronový oscilátor tu společnou vlastnost, že se dá v potřebném rozmezí přeladovat změnou hodnoty jediného odporu (což není u oscilátorů běžnou vlastností). Proto je možné použít u tranzitronu stejný ladící řetězec jako v případě katodově vázaného multivibrátoru.

Výstupní signál jde z tónového oscilátoru jednak do oddělovacího stupně tvořeného levou polovinou elektronky E_4 (ECC83), jednak do děličů kmitočtu. Podobně jako v zapojení na obr. 35 je kmitočť přiváděného signálu dělen prvním děličem v poměru 1 : 2 a následující dělič dělí původní kmitočť oscilátoru v poměru 1 : 4. Opět tedy obdržíme stopy 4', 8', a 16'. Přes rejstříkové spínače přivádíme signály na společnou sběrnici, odkud jdou na mřížku blokovacího stupně. V mřížkovém obvodu blokovacího stupně je zakreslena řada kontaktů, z jejichž popisů je patrna příslušnost ke klávesnici. Pod každou klávesou nástroje bude v tomto případě navíc ještě jeden kontakt blokovacího stupně. Úkolem blokovacích kontaktů je odřezávat nežádoucí praskot (kliky), způsobený přechodovými jevy při spínání. Praktické uspořádání kontaktů pod klávesami je shodné s řešením podle obr. 60, kde je také podrobněji vysvětlen princip blokování. Blokování v našem zapojení se liší od blokování v obr. 60 tím, že blokovací záporné předpětí mřížky se nevytváří na odporu v katodě, ale získáváme je ze samostatné baterie 6 V (spotřeba je velmi

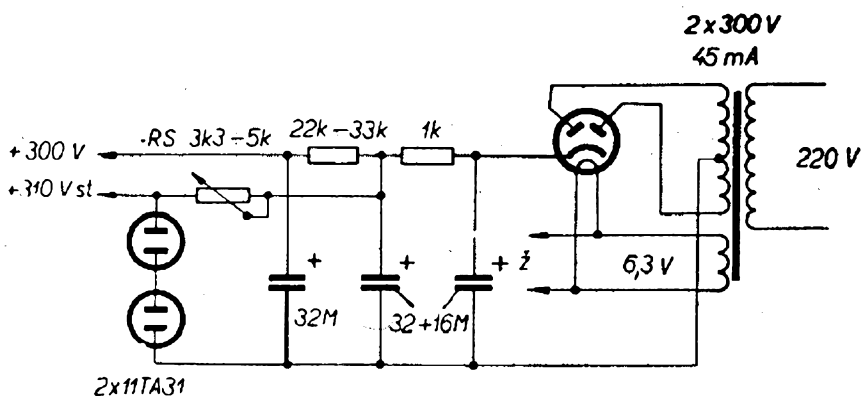


Obr. 40. Vibrátový oscilátor nástroje z obr. 39

nepatrná). Jsou-li všechny klávesové blokovací kontakty rozpojené, řídicí mřížka triody dostává tak vysoké záporné předpětí, že ani kladné půlplyny přiváděného signálu nevyvolají změny anodového proudu (zeslení elektronky je v tomto stavu minimální). Jakmile sepneme některý z blokovacích kontaktů, poklesne záporné předpětí mřížky na hodnotu, při níž je elektronka „otevřena“ a přiváděný signál jí prochází do výstupu (signál je současně zesilován).

Rejstříkové filtry popisovaného nástroje můžeme libovolně doplnit zkusmo vyhledanými rejstříky z některých jiných zapojení (zejména 16' rejstřík by si zasloužil zvukové obohacení). Jakýmkoli experimentováním v rejstříkové části se nástroj nemůže nijak poškodit a bude proto jen otázkou vkusu, pro jaké druhy a jaký počet rejstříků se rozhodneme.

Zapojení napájecího stupně je na obr. 41. Novinkou je zde stabilizace napětí dvěma doutnavkovými stabilizátory zapojenými do série. Tímto způsobem získáme stabilizované napětí 310 V pro napájení tónového oscilátoru. Hodnotu odporu RS nastavíme tak, aby se klidový proud stabilizátoru pohyboval mezi 15 až 18 mA. Nemáme-li k dispozici potřebný měřicí přístroj, postupujeme podle pokynů uvedených v návodu ke stavbě čtyřhlasého elektronkového nástroje.



Obr. 41. Napájecí část nástroje z obr. 39

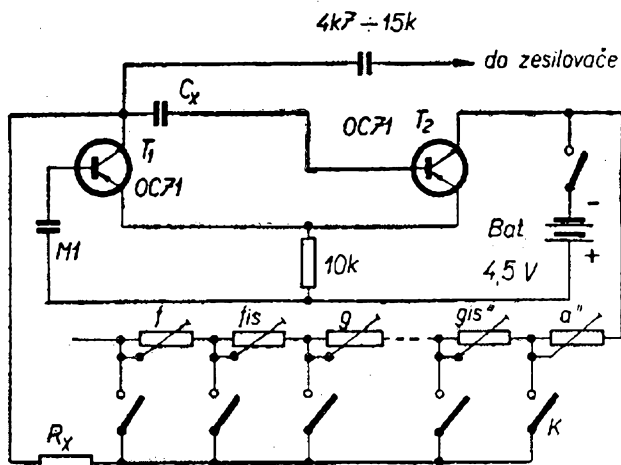
Tranzistorový jednohlasý nástroj pro začátečníky

Tranzistorový nástroj, který je velmi nenáročný na počet součástí i na spotřebu, můžeme postavit bez obtíží podle zapojení na obr. 42. Oscilátor tvoří dva tranzistory 106NU70, které pracují jako multivibrátor s vazbou na společném odporu v emitoru [3]. Jde tedy o obdobu elektronkového katodově vázaného multivibrátoru.

Celé zapojení je tak jednoduché, že ke stavebnímu návodu není co dodat (předpokládáme-li, že čtenář pochopil předcházející informace). Nahradíme-li odpor R_x potenciometrickým trimrem 47k, který bude přemostovat celý ladicí řetězec, ozve se z reproduktoru zesilovače

tón, jehož výška se dá měnit v poměrně širokém kmitočtovém rozsahu nepatrným pootočením běžce potenciometru. Tímto způsobem uvedeme nástroj snadno do chodu. Pak zkusmo nastavíme základní kmitočtový rozsah nástroje vhodnou hodnotou kondenzátoru C_x . Jakkmile si ověříme, že oscilátor pracuje, můžeme místo potenciometru 47k opět zařadit zkusmo vyhledanou hodnotu odporu R_x (asi kolem 22k) a příslušný řetězec ladicích potenciometrických trimrů, spínaných podobně jako u předcházejících nástrojů klávesovými kontakty.

Popisovaný nástroj nemá zatím oddělovací stupeň. Jeho funkci splní prakticky jakýkoli jednotranzistorový předzesilovač, který zapojíme mezi oscilátor a výstup.



Obr. 42. Jednoduchý tranzistorový hudební nástroj. Místo tranzistorů OC71 lze použít $2 \times 106NU70$, musíme však změnit polaritu *b* aterie. C_x - 1k5 až 4k7, R_x - 5k1 až 22k (podle požadovaného rozsahu ladění), K - klávesové kontakty

Tranzistorový jednohlasý nástroj s vibrátem a blokovacím stupněm

Zapojení dokonalejšího tranzistorového nástroje je na obr. 43. Tranzistory T_1 a T_2 je osazen oscilátor vibráta. Tranzistory T_3 a T_4 patří obvodu tónového generátoru, jehož kmitočet je podobně jako v předcházejících případech určován ladicími odporovými trimry (potenciometry). Blokovací stupeň s tranzistorem T_5 má samostatné blokovací kontakty, jejichž funkce je podobná jako v případě zapojení podle obr. 39. To znamená, že není-li blokovací kontakt sepnutý, tranzistor T_5 nepropustí přiváděný signál [4]. Z kolektoru T_5 přichází signál do jednoduchého rejstříkového obvodu. Podobně jako v ostatních případech je i zde možné počet rejstříků libovolně rozšířit.

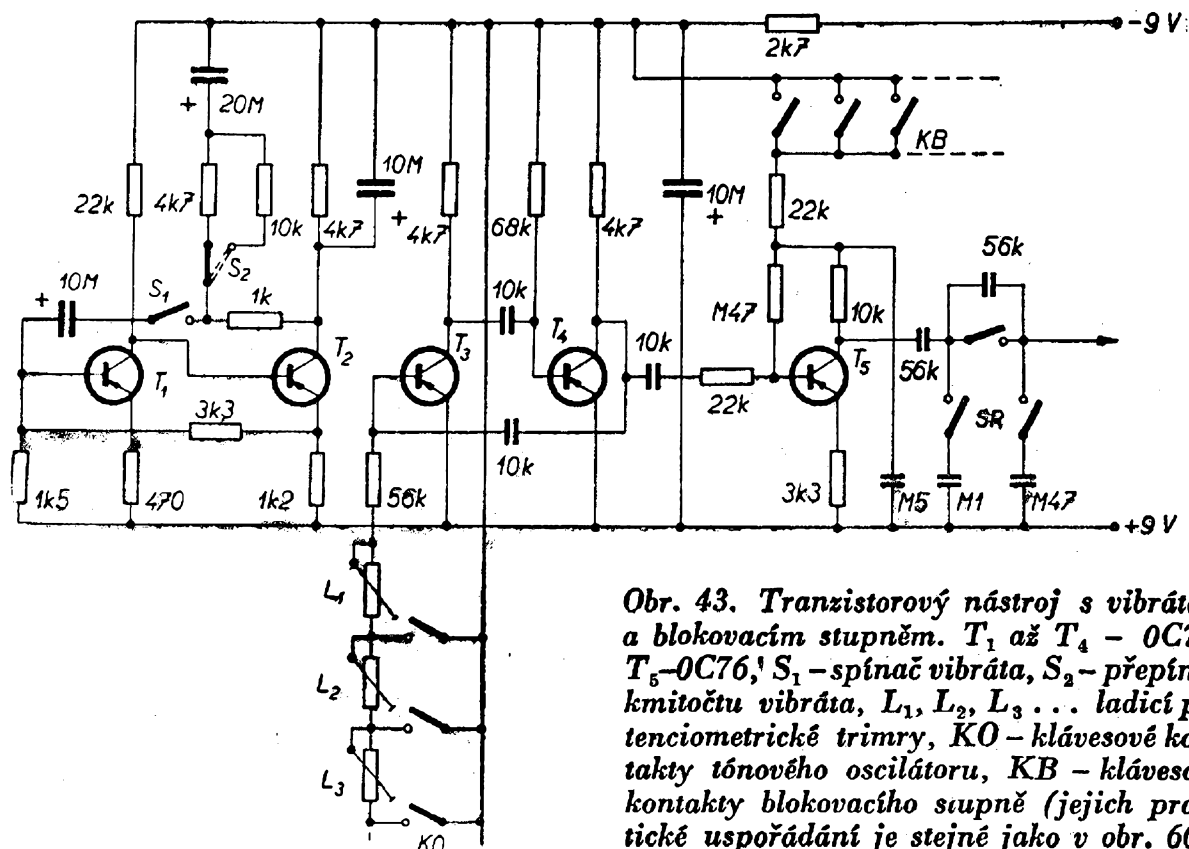
Mnohohlasé elektrické nástroje

Na mnohohlasé elektronické nástroje klademe převážně stejné požadavky jako na nástroje jednohlasé. Konceptně se však některé části jejich zapojení liší. Tak například od oscilátorů mnohohlasých nástrojů nevyžadujeme, aby byly přeladitelné v širším kmitočtovém rozsahu. Každý oscilátor kmitá jen na jediném kmitočtu. Stačí tedy volit takové zapojení oscilátoru, které by dovolovalo jen mírné doladění kmitočtu (v rozsahu asi jednoho tónu). To má nesmírnou výhodu v tom, že lze volit stabilnější zapojení oscilátoru, která nejsou příliš citlivá na rozladění vnějšími ani vnitřními vlivy.

V úvodu kapitoly o mnohohlasých elektronických nástrojích jsme si uvedli příklad řešení mnohohlasého nástroje s doutnavkovými oscilátory. I když toto řešení nepřichází pro seriózní hudební nástroj v úvahu, lze je v mírné obměně aplikovat s použitím oscilátorů elektronkových nebo tranzistorových. Takto vy-

bavený nástroj má pak nejméně tolik samostatných tónových oscilátorů, kolik je kláves (jsou to tzv. nástroje s volnými oscilátory). Profesionální nástroje tohoto druhu mívají někdy o 12 až 24 oscilátorů více než kláves, takže všechny klávesy rozsahu kromě základního tónu jsou obsazeny ještě tónem o oktávu vyšším a tónem o oktávu nižším. Jinými slovy, má takový nástroj čtyřstopé (4'), osmistopé (8'), a šestnáctistopé (16') rejstříky.

Nástroje s volnými oscilátory jsou hudebně velmi působivé, mají však nevýhodu v tom, že jejich naladění je poměrně složité a obvody pro stabilizaci napětí jsou – vzhledem k velkému počtu oscilátorů – poměrně nákladné. To je také důvod, proč se v současné době setkáváme u většiny profesionálních výrobků s elektronickými mnohohlasými nástroji osazenými jen dvanácti oscilátory, z nichž získáváme jen tóny nejvyšší oktávy, zatímco všechny nižší tóny se vytvářejí dělením základních kmitočtů. U takového nástroje stačí naladit dvanáct nejvyšších tónů řídicích tónových

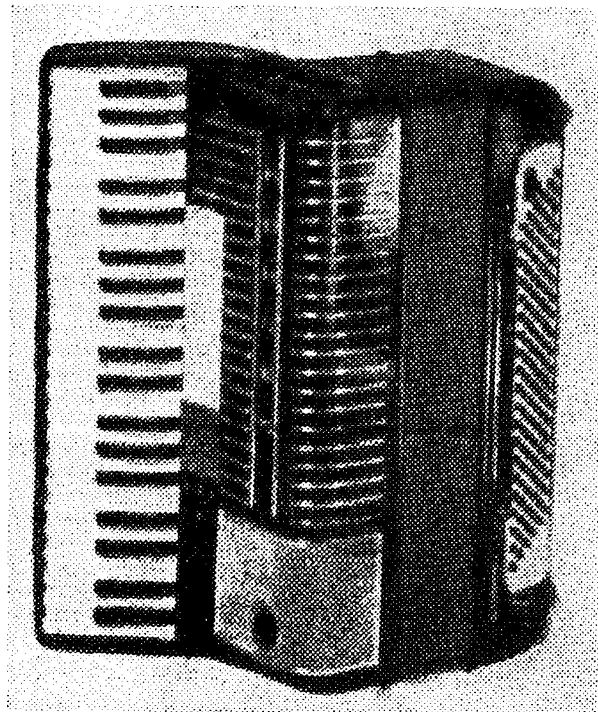


Obr. 43. Tranzistorový nástroj s vibrátem a blokovacím stupněm. T_1 až T_4 – OC71, T_5 – OC76, S_1 – spínač vibráta, S_2 – přepínač kmitočtu vibráta, $L_1, L_2, L_3 \dots$ ladící potenciometrické trimry, KO – klávesové kontakty tónového oscilátoru, KB – klávesové kontakty blokovacího stupně (jejich praktické uspořádání je stejné jako v obr. 60), SR – spínače rejstříků

oscilátorů a máme naladěný celý nástroj. Stabilizační obvody jsou v tomto případě mnohem jednodušší, protože potřebujeme stabilizovat jen těchto dvanáct oscilátorů, zatímco dělicí stupně nekládou na stabilizaci příliš velké nároky (většina děličů dělí spolehlivě v poměru 2:1 i v případě výkyvů napětí nad $\pm 20\%$).

Na obr. 23 až 26 jsme si ukázali některé mnohohlasé tovární výrobky, které se více nebo méně podobají tradičním varhanovým nástrojům. V nedávné době se v zahraničí začaly rozšiřovat také mnohohlasé elektronické nástroje v provedení akordeonu (např. americký Cordovox nebo západoněmecký Electravox). Jde v podstatě o nástroje, jejichž zapojení je zcela totožné se zapojením varhanových nástrojů. Navíc se zde však uplatňuje duplicitní využívání jedné z oktáv tónů, které jsou přiváděny jednak do klávesnice pravé ruky, jednak do akordové části levé ruky.

Elektronické mnohohlasé nástroje se staly v posledních letech v hudebním světě velkou módou. Jistě nemusíme dokazovat, že nejde o nahodilou módní



Obr. 44. Tranzistorový mnohohlasý nástroj Hohner-Electravox

vlnu, která časem opět opadne. V tomto případě se jen zcela zákonitě dostaly do popředí nástroje, které mohou směle konkurovat tradičním hudebním nástrojům a jejichž technické i hudební možnosti jsou téměř nevyčerpatelné. Trvalo však zbytečně dlouho, než byly i ty nejdokonalější elektronické hudební nástroje oficiálně uznány širší hudební veřejností.

O různých alternativách zapojení a mechanické konstrukce mnohohlasých hudebních nástrojů by se dalo napsat mnoho. Daleko názornější však budou dvě ukázky charakteristických koncepcí nástrojů, o nichž si povíme alespoň to nejdůležitější.

Hohner-Electravox [5]

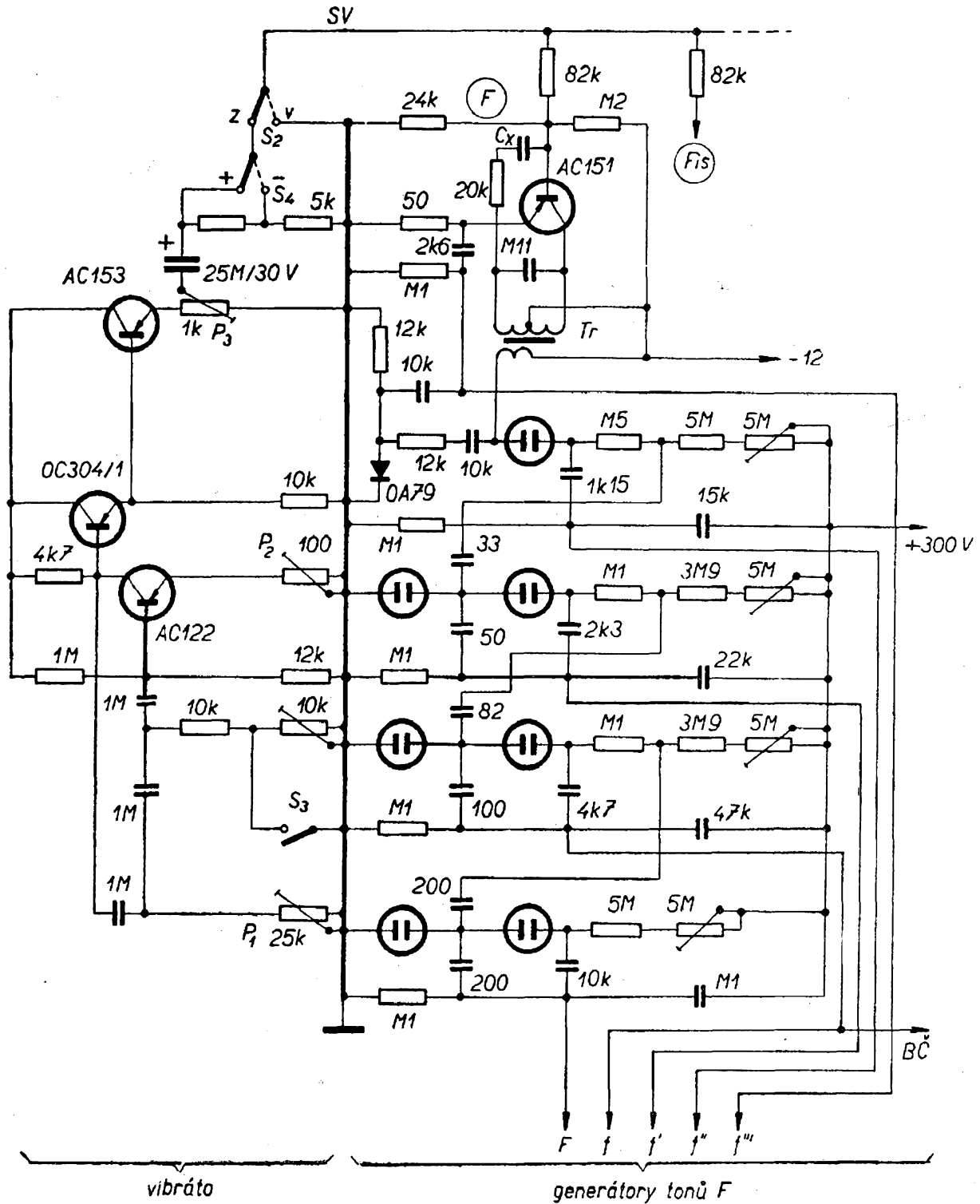
Velmi zajímavou novinkou západoněmecké firmy Hohner jsou elektronické varhany vestavěné v akordeonu. I když si – vzhledem k celkové koncepci – nástroj vlastně název varhany nezaslouží (protože jde o odlišnou techniku hry), jsou dosažené zvukové vlastnosti rovnocenné zvukovému projevu elektronických varhan střední cenové skupiny. Sám výrobce nazývá Electravox s velkou dávkou skromnosti jen mnohohlasým elektronickým akordeonem. Jak vidíme na obr. 44, neliší se Electravox vzhledem příliš od běžného akordeonu, až na to, že mu chybějí měchy, které by však byly zbytečné, protože melodická i basová část je osazena tranzistorovými oscilátory. Elektronická část nástroje má mnoho nových prvků, s nimiž jsme se v dostupné literatuře zatím nesetkali. Bude proto správné říci si o nástroji několik podrobnějších informací, které mohou být zdrojem inspirace vyspělejšími amatéry.

Obr. 45. ukazuje zapojení jednoho generátorového dílce, který v našem případě patří tónům *F* (pravá polovina zapojení) a současně na něm najdeme zapojení vibrátové jednotky, která je společná pro všechny tónové generátory (levá polovina zapojení). Jde tedy o dva samostatné celky, které jsou na obr. 45 rozděleny svislou zemnicí čarou.

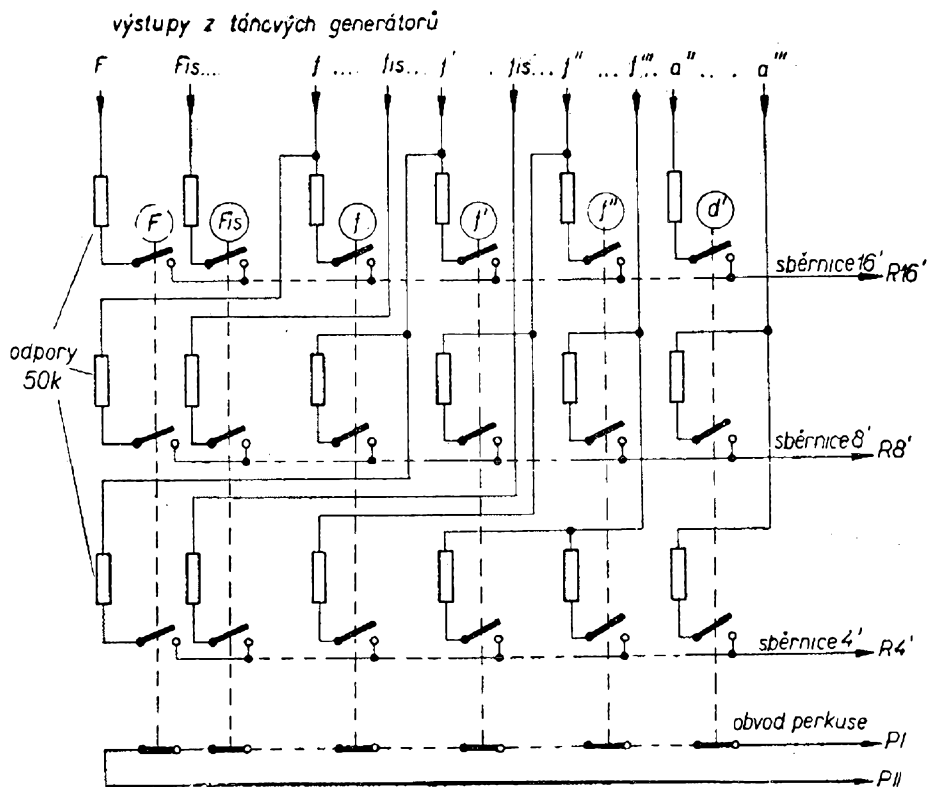
Zaměříme se nejprve na generátorovou část zapojení. Budeme postupovat smě-

rem odshora. Jednoduchý řídicí LC generátor je osazen tranzistorem AC151. Stejným způsobem je zapojeno zbývajících jedenáct řídicích generátorů, které dávají tónové kmitočty nejvyšších dvanácti tónů jedné oktávy v rozsahu f''' až

e'''' . Zapojení všech řídicích oscilátorů je naprosto stejné až na kondenzátor C_x , jehož hodnota se mění v rozmezí od 2k do 5k. Řídicí generátory jsou v tomto zapojení natolik stabilní, že umožňují vynechat oddělovací stupeň: nejvyšší tón



Obr. 45. Zapojení generátorové části Electravoxu



Obr. 46. Zapojení klávesových spínačů Electravoxu (Označení d' v posledním kroužku má být a')

f''' je v našem zapojení vyveden přímo z obvodu emitoru tranzistoru AC151. Z téhož bodu je současně vyveden i signál pro první dělič kmitočtu.

Tím jsme se dostali k zajímavé části zapojení: k doutnavkovým děličům kmitočtu. Kaskáda doutnavkových děličů dělí kmitočty přiváděné z předcházejících stupňů vždy v poměru 2 : 1. První dělicí stupeň je osazen jednou doutnavkou a germaniovou diodou OA79. Ostatní děliče jsou osazeny vždy dvojicí doutnavek zapojených v sérii. Jednotlivé děliče mají poměrně málo součástí tvořících RC obvody. Jejich časové konstanty jsou voleny tak, aby dvojice v sérii zapojených doutnavek kmitala v rytmu sudých kmitů přiváděného signálu.

Popisované děliče se vyznačují nezvykle širokým synchronizačním rozsahem (každý z děličů je schopen dělit spolehlivě kmitočty v tónovém rozsahu asi tří oktáv). Proto také mohou být zapojení všech dvanácti generátorových jednotek zcela totožná. Optimální pracovní bod děličů lze podle potřeby nastavit potenciometrickými trimry 5M. Otáčením trimrů vyhledáme nejvýhodnější pracovní napětí doutnavek, které ode-

bíráme ze společné sběrnice s napětím 300 V.

Doutnavkové děliče dávají komplexní kmity pilovitého tvaru. Kmity tohoto druhu obsahují velké množství vyšších harmonických kmitočtů, z nichž můžeme vhodně volenými formantovými rejstříky zdůraznit ty harmonické složky, které jsou charakteristické pro určité zabarvení zvuku.

Jednotlivé řídicí generátory jsou v obvodu báze napájeny ze společné sběrnice SV vibrátovým kmitočtem. Spínačem S_2 může být tato sběrnice spojena se zemí. Tím je vibráto vyraženo. V obvodu vibráta najdeme dole spínač S_3 k přepínání kmitočtu vibráta. V horní části zapojení je přepínač S_4 pro volbu dvoustupňové hloubky modulace vibráta. Základní kmitočet vibrátového oscilátoru nastavujeme potenciometrickými trimry P_1 a P_2 . Nejvyšší požadovanou hloubku modulace vibráta nastavíme potenciometrickým trimrem P_3 .

Představíme-li si, že v nástroji je celkem 12 generátorových jednotek a v každé z nich máme k dispozici 5 tónů, znamená to, že celá generátorová část dává celkem 60 tónů. Tónový rozsah tohoto

zapojení začíná tónem F a končí tónem e''' .

Electravox má běžnou akordeonovou klávesnici s rozsahem 41 kláves (f až a).

Podívejme se nyní, jak jsou kontaktové pérové svazky jednotlivých kláves zapojeny.

Na obr. 46 je zjednodušený nákres zapojení klávesových kontaktů. Plně jsou zde zakresleny jen kontakty kláves F , Fis , f , f' , f'' a pro názornost ještě klávesa nejvyššího tónu nástroje a''' . Zapojení ostatních klávesových kontaktů je stejné.

Z celé klávesnice nástroje jsou vyvedeny tři společné sběrnice $16'$, $8'$ a $4'$. Každá z kláves nástroje má tři spínací a jeden rozpínací kontakt. Sledujme nejprve klávesu F . Stiskneme-li ji směrem dolů, připojí se přes odpor $50k$ na sběrnici $R16'$ výstupní signál z posledního děliče generátorové jednotky F . Druhý kontakt přivede současně na sběrnici $R8'$ signál o oktávu vyšší – tón f . Třetí spínací kontakt klávesy F připojí na sběrnici $R4'$ tón f' . Kdybychom sběrnice $R16'$, $R8'$ a $R4'$ na výstupní straně propojili paralelně a výstup zavedli do zesilovače, ozvaly by se při stisknutí klávesy F současně tři tóny s oktávoými intervaly. Podobně by tomu bylo i u většiny ostatních kláves s výjimkou pěti nejvyšších kláves čtvrté oktávy (jsou to klávesy f''' , fis''' , g''' , gis''' , a'''). Všimněme si na obr. 46 klávesy a'' ! První kontakt přivádí na sběrnici $R16'$ tón a'' . Druhý kontakt této klávesy přivádí na sběrnici $R8'$ tón a''' . Třetí klávesový kontakt by měl na sběrnici $R4'$ přivádět tón a'''' . Tak vysoký tón však již v nástroji nemáme a proto je na sběrnici $R4'$ přiváděn zpět jen o oktávu nižší tón a''' . Podobně jsou propojeny i předcházející čtyři nejvyšší klávesy nástroje.

Zatím jsme si neřekli nic o funkci sériově zapojených rozpojovacích kontaktů, které jsou označeny jako „obvod perkuse“. Co to perkuse je, o tom si povíme až později. Zatím stačí vzít v úvahu, že pod každou klávesou nástroje je rozpojovací kontakt a že stisknutím kterékoli klávesy se obvod perkuse rozpojí.

Sledujme nyní cestu výstupů z klávesové části nástroje. Na obr. 47 nahoře je rejstříková část této části nástroje. Při

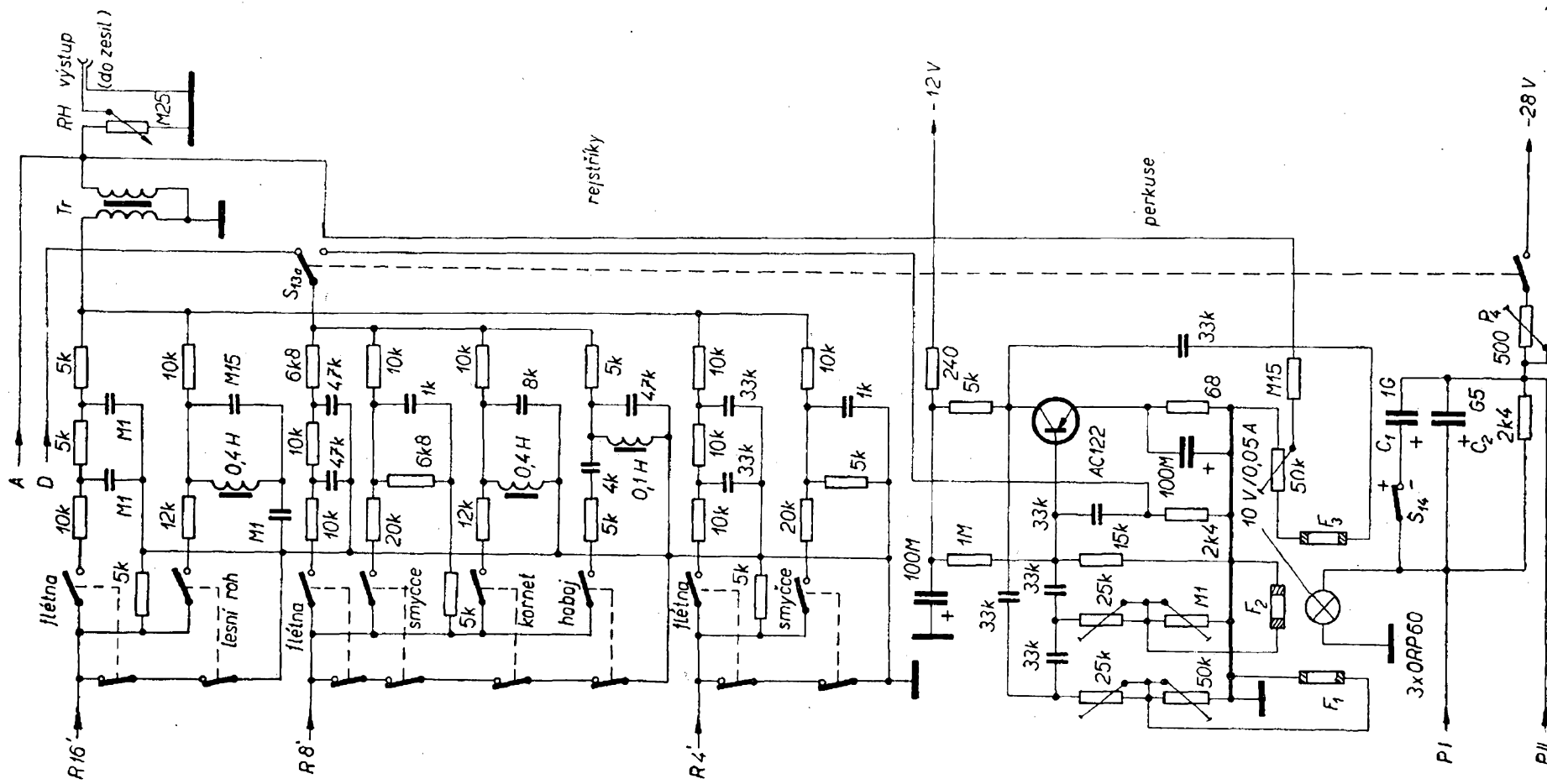
rozpojených rejstříkových spínačích jsou všechny signály přiváděné sběrnici $R16'$, $R8'$ a $R4'$ spojeny se zemí. Nástroj je v tomto stavu němý. Spínáním jednotlivých rejstříků dostáváme velmi pestré škálu zvukových zabarvení, která je zvláště působivá při kombinaci rejstříků rozdílných stop.

Výstup z rejstříků vede přes oddělovací transformátor na potenciometr RH , který slouží k regulaci výstupní hlasitosti. U Electravoxu je tento potenciometr umístěn v prostoru určeném obvykle měchům. Levá polovina akordeonu je částečně vyklápěcí, takže ji můžeme trochu povytáhnout, podobně jako u akordeonu s měchy. To umožňuje ovládat během hry vestavěný potenciometr a regulovat jím výslednou dynamiku nástroje.



Na obr. 47 dole je schéma zapojení obvodu perkuse. Perkuse je efekt umožňující imitovat některé bicí nástroje. To znamená, že při stisknutí klávesy

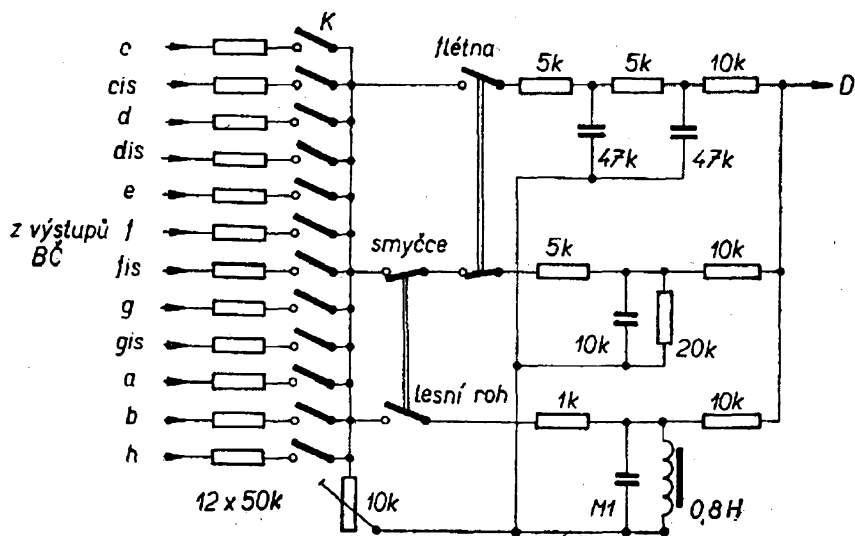
nástroje se tón ozve nejprve silně a pak rychleji nebo pomaleji dozní, i když klávesu dále tiskneme. V našem případě působí perkuse jen u rejstříku $8'$. Efektu doznívání se zde dosahuje fotoodporem F_3 (ORP60), osvětlovaným žárovkou $10\text{ V}/0,05\text{ A}$. Jsou-li sériové klávesové kontakty zapnuty, tj. je-li obvod $P_I - P_{II}$ spojen nakrátko, dostává žárovka v obvodu perkuse plné napětí, jehož hodnotu nastavíme předřadným potenciometrickým trimrem P_4 . Rozpojíme-li obvod $P_I - P_{II}$ stisknutím kterékoli klávesy, zařadí se do série se žárovkou obvod, jehož časovou konstantu volíme tak malou, aby krátce po stisknutí klávesy žárovka zhasla (rychle se vybíjejí kondenzátory C_1 a C_2). Jakmile žárovka zhasne, vzroste výrazně odpor všech tří fotoodporů. Jaký to má následek? Zkušenější čtenáři si jistě všimli, že fotoodpor F_3 je zapojen v sérii s cestou signálu, vycházejícího z rejstříku $8'$ (přes spínač perkuse S_{13a}). Sledujme však celou cestu signálu, vycházejícího z dolního kontaktu spínače S_{13a} . Přes kondenzátor $33k$ přichází na bázi tranzistoru AC122. Z jeho kolektoru postupuje do dalšího



Obr. 47. Zapojení rejstříků a perkuse Electravoxu

Prosíme čtenáře, aby si laskavě opravili malou chybu v zapojení: spoj vycházející z bodu D na horní kontakt spínače S_{13a} má být správně spojen s horním vývodem primárního vinutí transformátoru Tr (v místech, kde jej kříží). Dolní neoznačený spínač je S_{13b}

Obr. 48. Akordická
část Electravoxu



řetězce RC členů, který se skládá z kondenzátoru 33k, fotoodporu F_3 , potenciometrického trimru 50k a odporu M15. Je-li fotoodpor F_3 plně osvětlen, je jeho odpor zanedbatelný (řádu několika kiloohmů). Zhasne-li však žárovka, vzroste jeho odpor asi tisíckrát a procházející signál je zeslaben na minimum. Tímto způsobem je tedy řešeno vlastní doznívání. Fotoodpory F_1 a F_2 mají již trochu jiné poslání: jsou součástí obvodu, který znásobuje efekt perkuse zabarvením charakteristickým pro bicí nástroje. Vlastní obvod tranzistoru AC122 zastává tedy funkci tónového rejstříku perkuse, zatímco pro samotný efekt strmého útlumu hlasitosti by stačil jen obvod žárovky s fotoodporem F_3 .

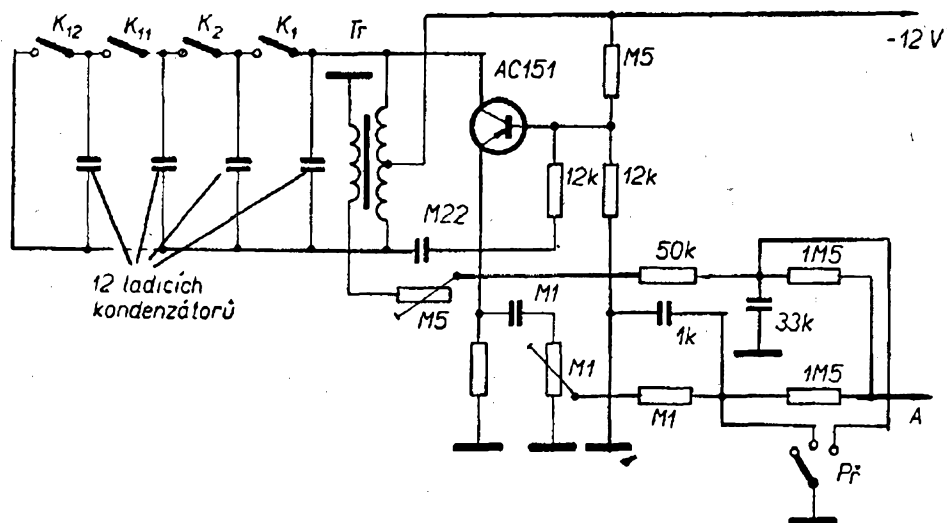
Strmost útlumu tónu zvětšíme rozpojením spínače S_{14} . Zmenší se tím časová

konstanta obvodu, který se vybijí těsně po rozpojení klávesy. Tímto způsobem je možné poměrně věrně imitovat spinet.

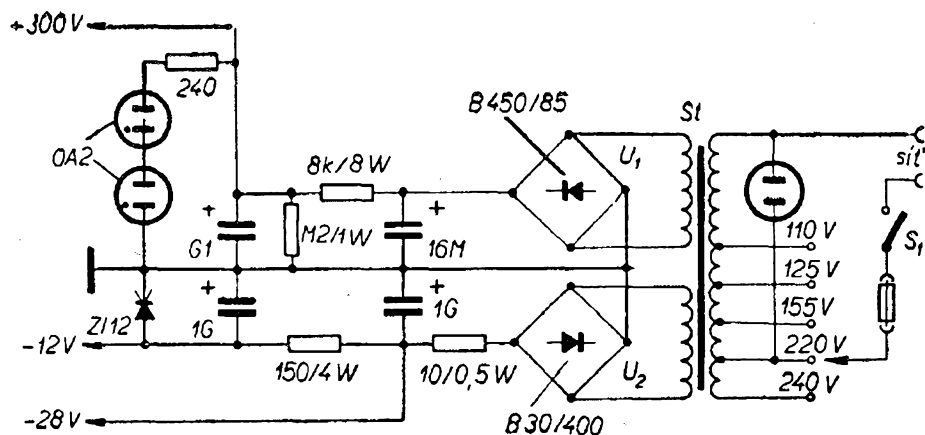
Vzhledem k tomu, že všechny kontakty v obvodu perkuse jsou zapojeny pod klávesami v sérii, dosáhneme efektu perkuse jedině tehdy, hrajeme-li staccato. Kdybychom vážali tóny, zazněl by jen první z nich a další by již obvodem perkuse neprošly.

Podívejme se nyní na zapojení basové části Electravoxu. Akordeonisté vědí, že první dvě řady knoflíků basové části patří základnímu basovému tónu, zatímco zbývající čtyři řady umožňují hrát durové, mollové, septimové a zmenšené septimové akordy.

Akordová část Electravoxu nemá samostatné tónové generátory, ale používá přímo tóny z generátorové části, ode-



Obr. 49. Basový LC
generátor
Electravoxu



Obr. 50. Napájecí část *Electravoxu*

bírané z jednotlivých generátorových jednotek vždy ze třetího děliče. Na obr. 45 jsme si tento vývod označili *BČ*. Zapojení akordových spínačů basové části je na obr. 48. Jak vidět, vystačíme zde se 12 tóny. Spínače *K* jsou ovšem ovládány složitou mechanikou, která je shodná s mechanikou jazýčkového

akordeonu. Akordová část má tři rejstříky. Výstup z rejstříku *D* je zaveden na primár společného směšovacího transformátoru z obr. 47.

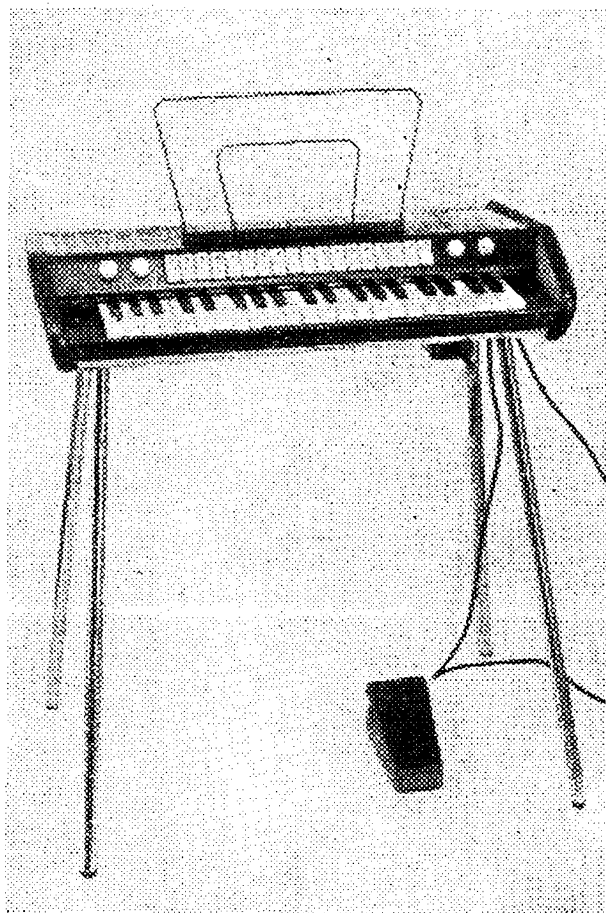
Zbývají ještě základní basové tóny. Jde o hluboký bas, který není v generátorové části k dispozici. Proto je nástroj vybaven ještě jednohlasým tranzistorovým *LC* oscilátorem, který dodává potřebných dvanáct tónů pro první dvě řady basových knoflíků. Zapojení tohoto oscilátoru s jediným tranzistorem *AC151* je na obr. 49. Ladicími prvky jsou zde paralelně řazené kondenzátory. Na výstupu oscilátoru jsou jednoduché rejstříky, ovládané třípolohovým přepínačem *Př*. Pokračování výstupu *A* najdeme na obr. 47.

Napájecí část podle obr. 50 je řešena v podstatě tradičním způsobem. Napětí 300 V pro doutnavkové děliče je stabilizováno dvěma doutnavkovými stabilizátory *OA2*. Napětí 12 V pro řídicí generátory a pro generátor basových tónů je stabilizováno Zenerovou diodou. Napětí 28 V pro oscilátor vibráta stabilizováno není.

Elektronický mnohohlasý nástroj **IONIKA** [6]

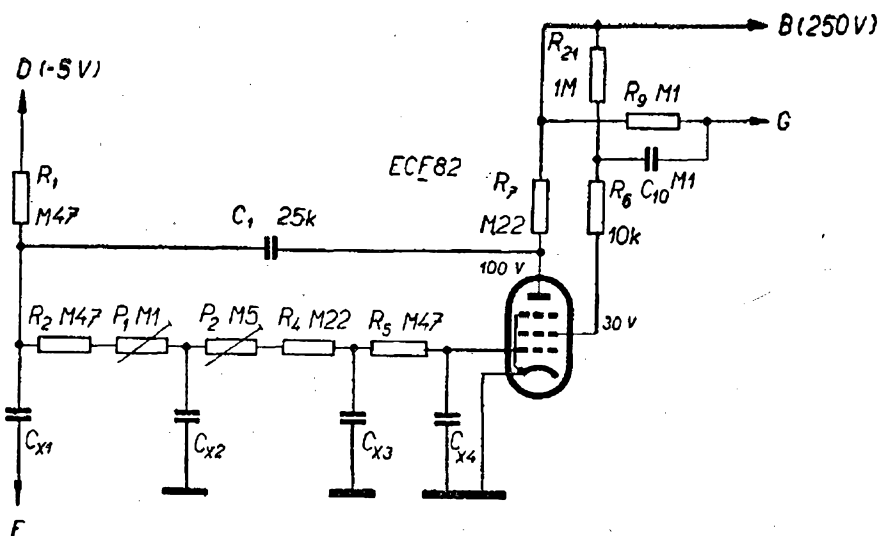
Je to známý výrobek firmy *VEB Blechblas- und Musikinstrumentenfabrik, Markneukirchen (NDR)*. Jde o elektronkový nástroj, který je k nám v posledních letech dovážen, nejčastěji v provedení podle obr. 51.

Ionika má 41 kláves s rozsahem od *a* do *a*. Nástroj je vybaven 18 rejstříko-



Obr. 51. Elektronkový mnohohlasý nástroj *Ionika*

Obr. 52. Řídicí generátor Ioniky



vými spínači, které lze navzájem různě kombinovat. Pod nástrojem je kolenem ovladatelná páka glisanda.

Než se začneme podrobněji seznamovat s útroby nástroje, řekněme si povšechně o jeho koncepci.

Podobně jako Electravox pracuje i Ionika se 12 řídicími oscilátory (zapojenými jako oscilátory s posuvem fáze-čtyřpóly), na něž navazují elektronkové děliče kmitočtu.

Zapojení řídicího oscilátoru je na obr. 52. Z tabulky kondenzátorů (tab. I.) je patrné, že vždy čtyři jednotky sousedních čtyř tónů jsou elektricky zcela stejné. Zapojení ostatních osmi oscilátorů se liší jen hodnotami několika kondenzátorů.

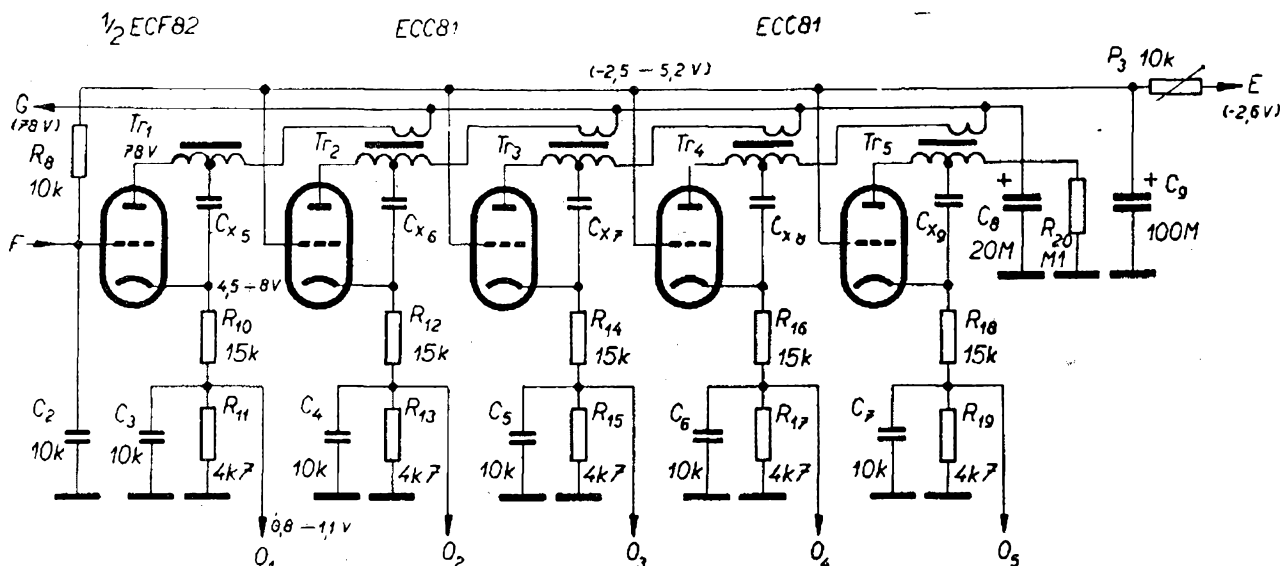
Řídicí generátor je osazen pentodovou částí elektronky ECF82. Čtyřpól mezi anodou a řídicí mřížkou pentody má dva proměnné členy P_1 a P_2 k doladění kmi-

točtu oscilátoru. Potenciometrem P_2 , který je uvnitř nástroje, nastavujeme hrubý kmitočet oscilátoru. K jemnému doladění kmitočtu slouží potenciometr P_1 , který je instalován na zadní stěně nástroje (spolu s dalšími jedenácti potenciometry ostatních oscilátorů).

Do bodu B přivádíme anodové napětí 250 V pro řídicí generátor a do bodu D předpětí z glisandové části a současně i střídavé napětí vibrátového kmitočtu. Kondenzátorem C_{x1} vystupuje signál z oscilátoru a postupuje na mřížku oddělovacího stupně v obr. 53. Oddělovací stupeň tvoří triodová část elektronky ECF82. Následující řetězec děličů dělí přiváděný kmitočet vždy v poměru 2 : 1. Na katodových odporech děličů získáváme pilovité kmity potřebného tónového rozsahu. Z děličů přivádíme signál vývody O_1 až O_6 ke klávesovým spínačům.

Tab. I - Hodnoty kondenzátorů řídicích generátorů a děličů elektronického nástroje IONIKA

Generátor	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cis, D, Dis, E	240	240	240	240	5k25	9k	20k	50k	M1
A, Ais, H, C	300	300	300	300	6k5	11k5	25k	62k5	N125
F, Fis, G, Gis	380	380	380	380	8k25	14k5	30k	75k	M15



Obr. 53. Dělicí stupně Ioniky

Anody děličů kmitočtu v obr. 53 jsou napájeny z odporového děliče $R_9 - R_{20}$ v bodě G. Do bodu E je zavedeno přídatné mřížkové předpětí, které kompenzuje stabilitu děličů při používání glisanda.

Místo obvyklých kovových pružin používá Ionika jako klávesové spínače speciální doutnavky. Pod každou klávesou je umístěno celkem 5 doutnavek, které představují pět kontaktních dvojic. Zapojení klávesnice je zde tedy složitější než u Electravoxu, vyplývá z toho však výhoda většího bohatství rejstříkových kombinací. Zatímco u Electravoxu jsme pracovali jen s rejstříky 16', 8' a 4', u Ioniky máme navíc ještě rejstříky 2 2/3' a 2'.

Pohled na zapojení klávesových doutnavkových kontaktů je na obr. 54. Jde o analogii zapojení z obr. 46. Také zde je zapojení nejvyšších pěti kláves nástroje zjednodušeno (nedostává se tónů pro 2' sběrnici).

Klávesové doutnavkové spínače pracují zajímavým způsobem. Po obou stranách doutnavkových spínačů jsou umístěny elektrody napájené střídavým vysokofrekvenčním napětím 100 kHz/650 V. Jednotlivé pětice doutnavek jsou v klidu odstíněny od vysokofrekvenčního pole posuvnými kovovými clonami, které jsou uzemněny. Stiskneme-li klávesu,

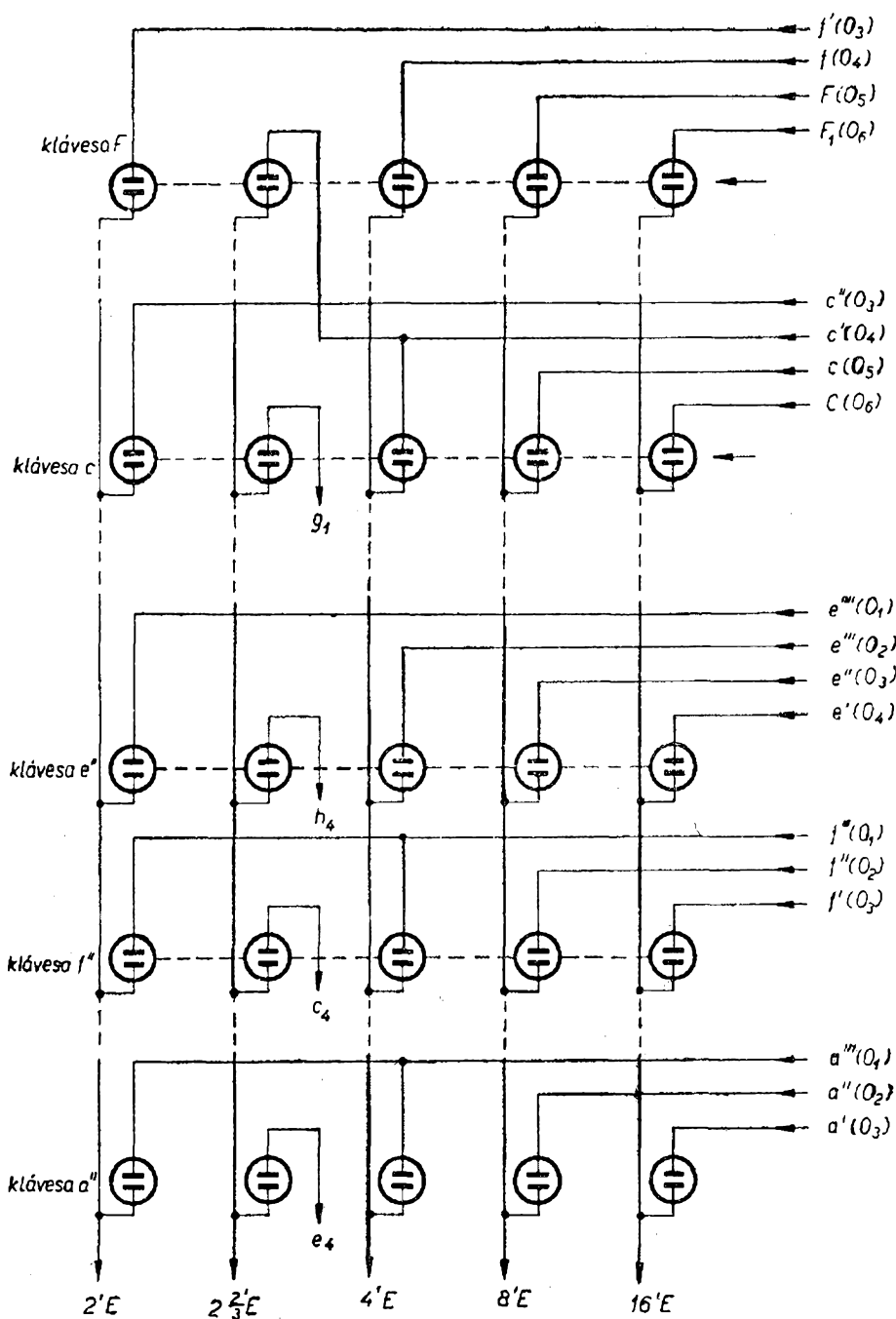
posune se stínící clona směrem dolů a vysokofrekvenční pole ionizuje doutnavky. Tím se doutnavky stanou vodivými a mohou propustit přiváděné signály na společné sběrnice. Uvolníme-li klávesu, zasune se tlakem pružiny stínící clona zpět mezi doutnavky a elektrody s vysokofrekvenčním potenciálem. Výboj v doutnavkách ustane, kontakty se rozpojí. Tímto zajímavým způsobem je u Ioniky dosaženo nehlukného spínání, které se nevyznačuje obvyklým odřezáváním výšek. Nevýhodou doutnavkového spínání je však poměrně pozvolné nasazení tónu, charakteristické pro harmonium nebo kostelní varhany. Použití Ioniky pro moderní taneční hudbu je tím velmi omezeno. Praxe také ukázala, že životnost doutnavek je v této funkci poměrně krátká. Víme, že životnost každého druhu výbojky nebývá omezena ani tak počtem provozních hodin, jako počtem sepnutí. Životnost doutnavky, která by při nepřerušném provozu fungovala několik desítek let, může skončit po několika týdnech provozu, je-li denně např. tisíckrát sepnuta (což je u hudebního nástroje při průměrném používání běžné).

Přes tyto stinné stránky je Ionika zajímavým nástrojem. Je to ostatně stále ještě jediný představitel elektronických nástrojů, který se kdy objevil na tuzemském trhu a s nímž se tedy naši amatéři

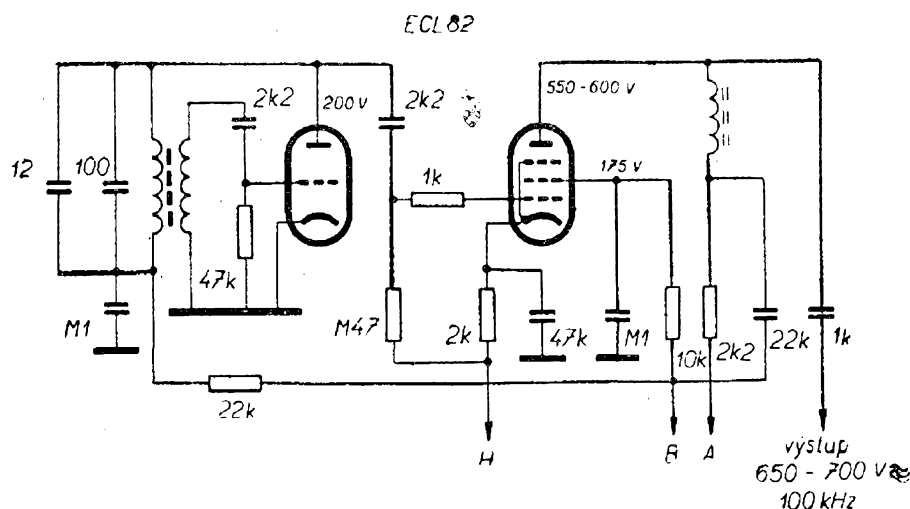
běžně setkávají. Podrobnější popis Ioniky nebude proto sloužit jen jako pramen inspirujících informací, ale i jako vodítko při opravách a úpravách nástroje (o možnostech některých úprav a doplňků nástroje si povíme v závěru kapitoly).

Vysokofrekvenční generátor pro napájení elektrod klávesových a rejstříkových spínačů je zapojen podle obr. 55. Je osazen jedinou elektronkou ECL82. Triodová část je zapojena jako řídicí oscilátor, jehož vysokofrekvenční kmi-

točet je přiváděn přes kondenzátor 2k2 a odpor 1k na řídicí mřížku výkonového stupně. Výkonový stupeň tvoří pentodová část elektronky ECL82. V jeho anodovém obvodu je i laděný rezonanční obvod LC. Abychom dosáhli potřebné hodnoty vysokofrekvenčního napětí, napájí se anoda pentody napětím 550 až 600 V. Oddělovací kondenzátor 1k zabraňuje pronikání stejnosměrné složky anodového napětí do klávesového systému.



Obr. 54. Zapojení klávesových spínačů Ioniky



Obr. 55. Vysokofrekvenční generátor Ioniky

Z klávesových sběrnic přicházejí signály do rejstříkových předzesilovačů (obr. 56). Každý signál zesiluje samostatná trioda ECC81. RC členy v obvodu mřížek předzesilovačů slouží k odstranění (odfiltrování) zbytků vysokofrekvenčního napětí, které se v klávesových obvodech promodulovalo do původních signálů. Součástí rejstříkových předzesilovačů na obr. 56 není poslední trioda vpravo, která pracuje jako výstupní zesilovač.

Z výstupů předzesilovačů z obr. 56 jsou signály 2'A až 16'A přiváděny do rejstříkové části na obr. 57. Zde se opět setkáváme s doutnavkovými spínači, které pracují podobně jako doutnavkové spínače kláves.

Významným zvukovým přínosem je u Ioniky kvintový rejstřík (2 2/3'), který se u mnohohlasých elektronických nástrojů často používá. Jinak se rejstříková část Ioniky vyznačuje účelnou jednoduchostí, která přesto dává dobré výsledky.

Výstup rejstříku FE je spojen se zemí přes odpor 10M, na němž vzniká předpětí pro triodu výstupního zesilovače z obr. 56. Z anody výstupního zesilovače jde vývod FA přes pedálový regulátor hlasitosti do libovolného zesilovače.

Na obr. 58 je zapojení vibrátového oscilátoru a bistabilního klopného obvodu. Pentodová část elektronky ECF82 je zapojena jako RC generátor vibráta. Potenciometrem P_v , vyvedeným na manipulační panel nástroje, můžeme plynule řídit



kmitočet vibráta. Výstupní vibrátový kmitočet se odebírá z druhé mřížky pentodové části elektronky ECF82 (vývod C). V síťovém napájení na obr. 59 najdeme pokračování vývodu C: vede přes kondenzátor C_3 na běžec potenciometru P_4 , jímž lze plynule měnit hloubku modulace vibráta. Z výstupu D pak vychází vibrátové napětí spolu s mřížkovým předpětím do řídicích generátorů, s nimiž jsme se seznámili již na obr. 52 a 53.

Zbytek zapojení na obr. 58 má zcela odlišnou funkci: pracuje jako bistabilní klopný obvod. Jaká je jeho funkce? Dvanáct nejhlubších kláves nástroje by vzhledem k omezenému kmitočtovému rozsahu generátorových jednotek postrádalo nejhlubší tóny, odpovídající stopě 16'. Výrobce měl však poctivou snahu neochudit dolní hranici tónového rozsahu nástroje. Proto v zapojení pamatoval alespoň na přídatný dělič kmitočtů získaných z výstupů O_5 . Pomocné přepínací kontakty u nejhlubší oktávy klávesnice dovolují přivádět do bistabilního klopného obvodu vždy jen jeden z kmitočtů O_5 . Stiskneme-li např. dvě nebo více sousedních kláves nejhlubší oktávy nástroje, přichází do obvodu vždy jen nejhlubší tón. Zapojení je tedy pro 16' sběrnic v rozsahu nejnižší oktávy jen monofonní (chová se jako jednohlasý nástroj). Vzhledem k tomu, že ostatní stopy rozsahu jsou plně obsazeny, není tento jednoduchý trik při hře patrný.

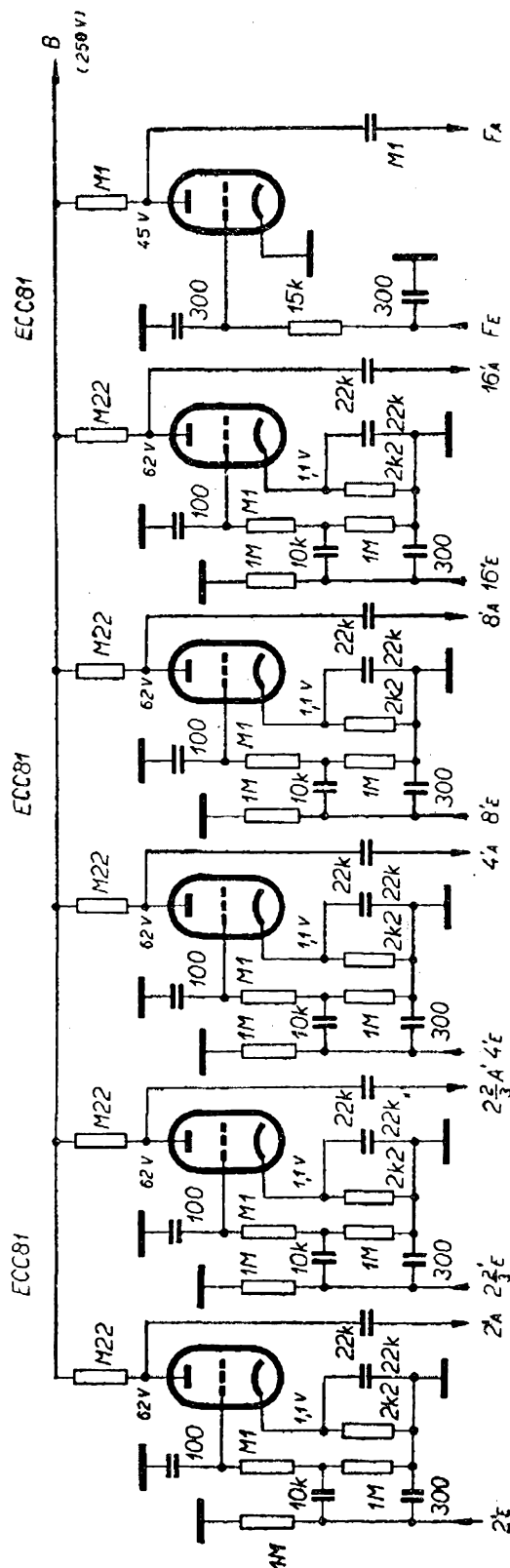
Zbývá ještě síťová část nástroje. Její zapojení je na obr. 59, do něhož jsme již

před chvílí zabloudili pohledem (když jsme sledovali cestu výstupního střídavého signálu z oscilátoru vibráta). Na sekundáru síťového transformátoru jsou čtyři vinutí pro žhavení 6,3 V a jedno anodové vinutí, z něhož se odebírá střídavé napětí 225 V. Usměrňovač U_2 usměrňuje anodové napájecí napětí, které je vyhlazeno filtračním řetězcem C_2, R_3, C_4 a vyvedeno do bodu B. Usměrňovač U_1 zdvojuje základní anodové napětí. Zdvojené napětí prochází filtračním řetězcem C_1, R_2, C_3 a vychází bodem A do vysokofrekvenčního generátoru.

Potenciometrem P_2 se nastavuje velikost předpětí řídicích generátorů, z potenciometru P_3 vychází předpětí pro dělicí stupně (výstup E). Potenciometr P_1 slouží k nastavení rozpětí glisandového zdvihu. Nastavujeme jím vlastně velikost základního předpětí pro řídicí generátory a děliče. Kolenem ovládaným regulátorem glisanda můžeme během hry dosáhnout potřebného efektu.

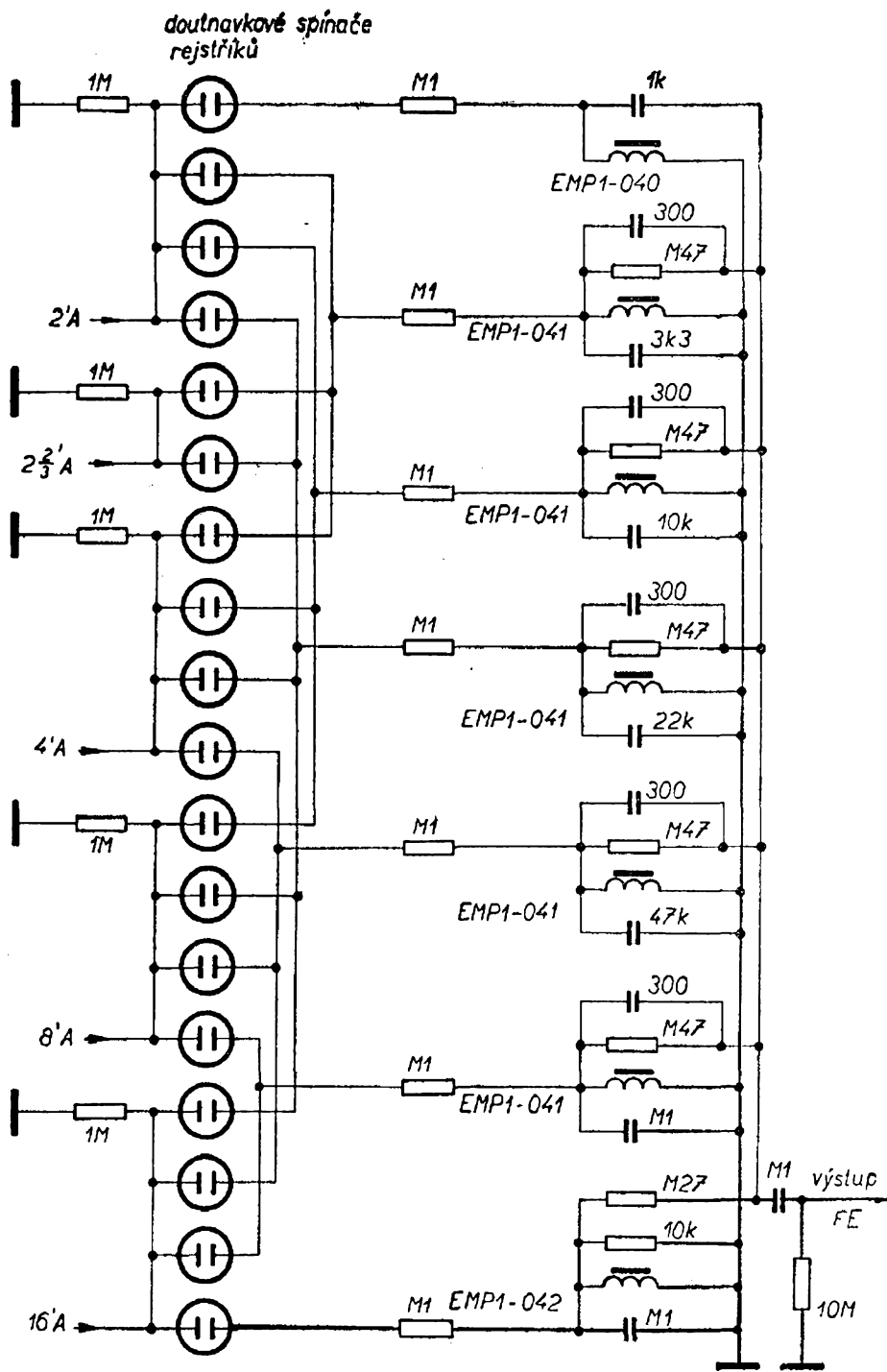
Mnozí čtenáři si pravděpodobně všimli, že napájecí část nástroje postrádá jakoukoli stabilizaci. Proto je nutné připojovat nástroj ke speciálnímu stabilizátoru síťového napětí (výrobce jej k Ionice dodává).

Slíbili jsme, že si povíme i o možnostech úpravy a doplnění Ioniky. Mezi nejlákavější úpravy patří bezesporu doplnění nástroje druhým manuálem. Pohrdneme-li možností řešit druhý manuál jako samostatný jednohlasý nástroj pro sólovou hru (ačkoli taková jednoduchá úprava je hudebně velmi působivá), můžeme klávesové spínače druhého manuálu napájet přímo z výstupů O_1 až O_5 (paralelně s původním manuálem). Druhý manuál by bylo možné řešit podle zapojení klávesnice Electravoxu, nebo přidat navíc ještě kvintovou sběrnici. Podobně jako u Electravoxu můžeme i zde použít pružinové klávesové kontakty (doutnavkové spínání by bylo jednak nepraktické, jednak výrobně příliš nákladné). Zvukové možnosti Ioniky výrazně obohatíme přidáním jednoduchého pedálu s tónovým rozsahem jedné oktávy. Pedál může být osazen libovolným elektronickým oscilátorem se samostatnou napájecí částí. Někteří zahraniční výrobci řeší přídavné



Obr. 56. Zapojení rejstříkových předzesilovačů a výstupního předzesilovače Ioniky

Obr. 57. Rejstříková část Ioniky

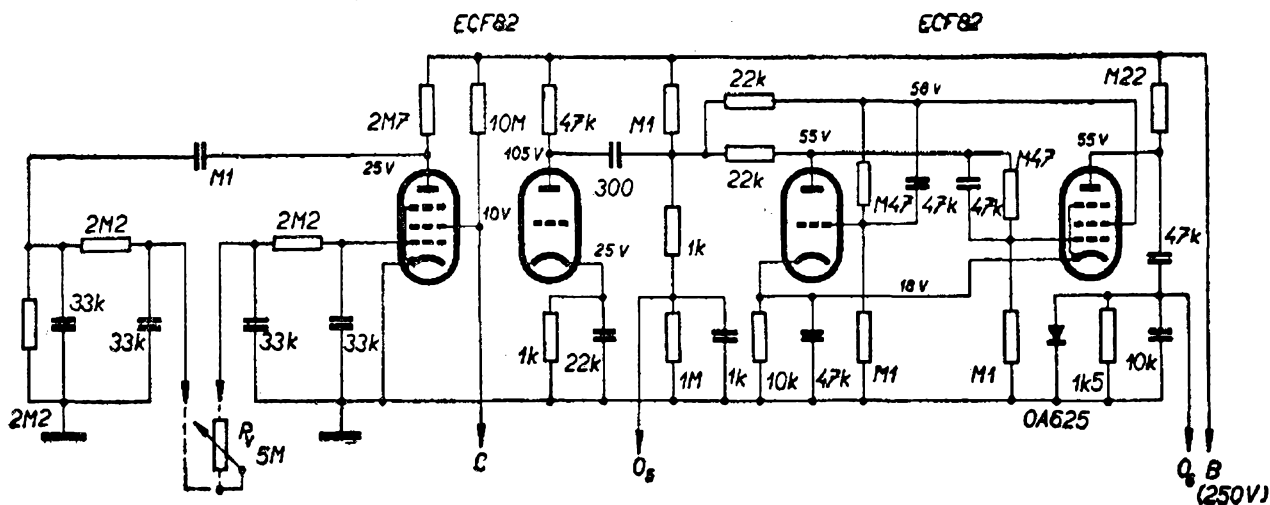


pedálové nástroje tohoto druhu jako malou skříňku, z níž se nasazením víka stane přenosný kufřík. Takový pedál je velmi praktickým doplňkem. Při hře v orchestru nemá sice větší uplatnění (s výjimkou malých instrumentálních skupin), zato při sólové hře je téměř nepostradatelný.



Elektronický akordeonový čtyřhlasý nástroj

Člověk je tvor nespokojený. Není tedy divu, že většinu amatérů, kteří si postavili jednohlasý nástroj, posedne dříve nebo později touha po nástroji mnohohlasém. Přejít od jednohlasého nástroje ke stavbě elektronických varhan zůstává



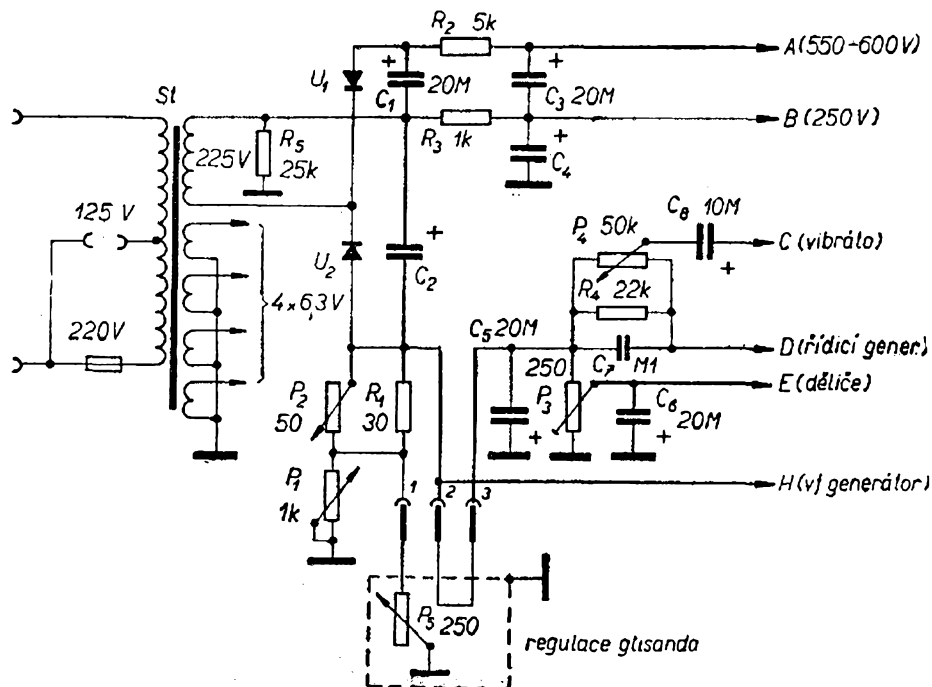
Obr. 58. Vibrátový oscilátor a bistabilní klopný obvod Ioniky

však výsadou několika málo jednotlivců, kteří mají hlubší odborné znalosti, zkušenosti a disponují i rozsáhlejšími finančními zdroji.

Mezi jednohlasými elektronickými hudebními nástroji a nákladnými mnohohlasými nástroji varhanového typu zůstává veliké „bílé místo“, které je možné při troše fantazie vyplnit vhodně řešenými mezitypy. Jednou z možností je nástroj, jehož stavba není přehnaně náročná ani nákladná, který však přes jistá

omezení umožňuje vícehlasou akordickou hru. Nástroj je čtyřhlasý a je určen pro jednoruční hru, která je obvyklá u akordeonu.

Zdrojem tónu jsou u tohoto nástroje čtyři katodově vázané multivibrátory, které obsáhnou „napřeskáčku“ celý tónový rozsah klávesnice. Podívejme se však nejprve na obr. 60, kde najdeme ohraničenou část zapojení, označenou I. Čtyři takto shodně zapojené jednotky (I–IV) jsou srdcem nástroje. Každou



Obr. 59. Napájecí díl Ioniky

z těchto jednotek tvoří katodově vázaný multivibrátor s elektronkou ECC82 a blokovací (oddělovací) stupeň s elektronkou EF89. S elektronkovým oscilátorem v zapojení katodově vázaného multivibrátoru jsem se již setkali na předcházejících stránkách. Nemusíme se jím proto podrobněji zabývat, protože jde o podobné zapojení. Přibylo zde jen několik nových součástí. Tak například levá mřížka multivibrátoru je spojena se zemí přes odpor 22k, který je součástí děliče střídavého napětí vibrátového kmitočtu. Vibrátový kmitočet přivádíme z oscilátoru vibráta přes odpor 4M7. Pokud by se nám zdála hloubka modulace vibráta malá, můžeme odpor 22k nahradit větším. Místo odporu 22k můžeme do příslušných obvodů zapojit potenciometrické trimry 33k až 47k, jimiž pak vyvážíme vzájemnou hloubku modulace vibráta jednotlivých oscilátorů (v praxi se totiž stane, že hloubka promodulování vibráta se u jednotlivých multivibrátorů dost znatelně liší).

V anodovém okruhu každého ze čtyř multivibrátorů je zařazen jednoduchý filtrační člen, složený z odporu 10k a kondenzátoru M22. Filtr potlačuje vzájemné ovlivňování oscilátorů vazbami v napájecí.

Kmitočet multivibrátoru zde měníme známým způsobem: změnu hodnoty odporu mezi mřížkou pravé triody a zemí. V našem případě nastavíme nejprve na-



hrubo nejvyšší zadaný kmitočet oscilátoru odporem R_x a jemně jej doladíme potenciometrickým trimrem 4k7. Takové zapojení je kmitočtově stabilnější, než kdybychom místo těchto dvou členů zařadili jediný větší potenciometr. U něho by totiž malá změna polohy běžce (otřesením) způsobila znatelné rozladění.

Výstupní signál oscilátoru odebíráme z jeho katody a přivádíme přes kondenzátor 10k na řídicí mřížku následujícího blokovacího stupně. Blokovací stupeň pracuje v triodovém zapojení (druhá mřížka elektronky EF89 je spojena s anodou). Elektronka EF89 jednak odděluje oscilátor od dalších obvodů (čímž odstraňuje nebezpečí zpětného vlivu různých

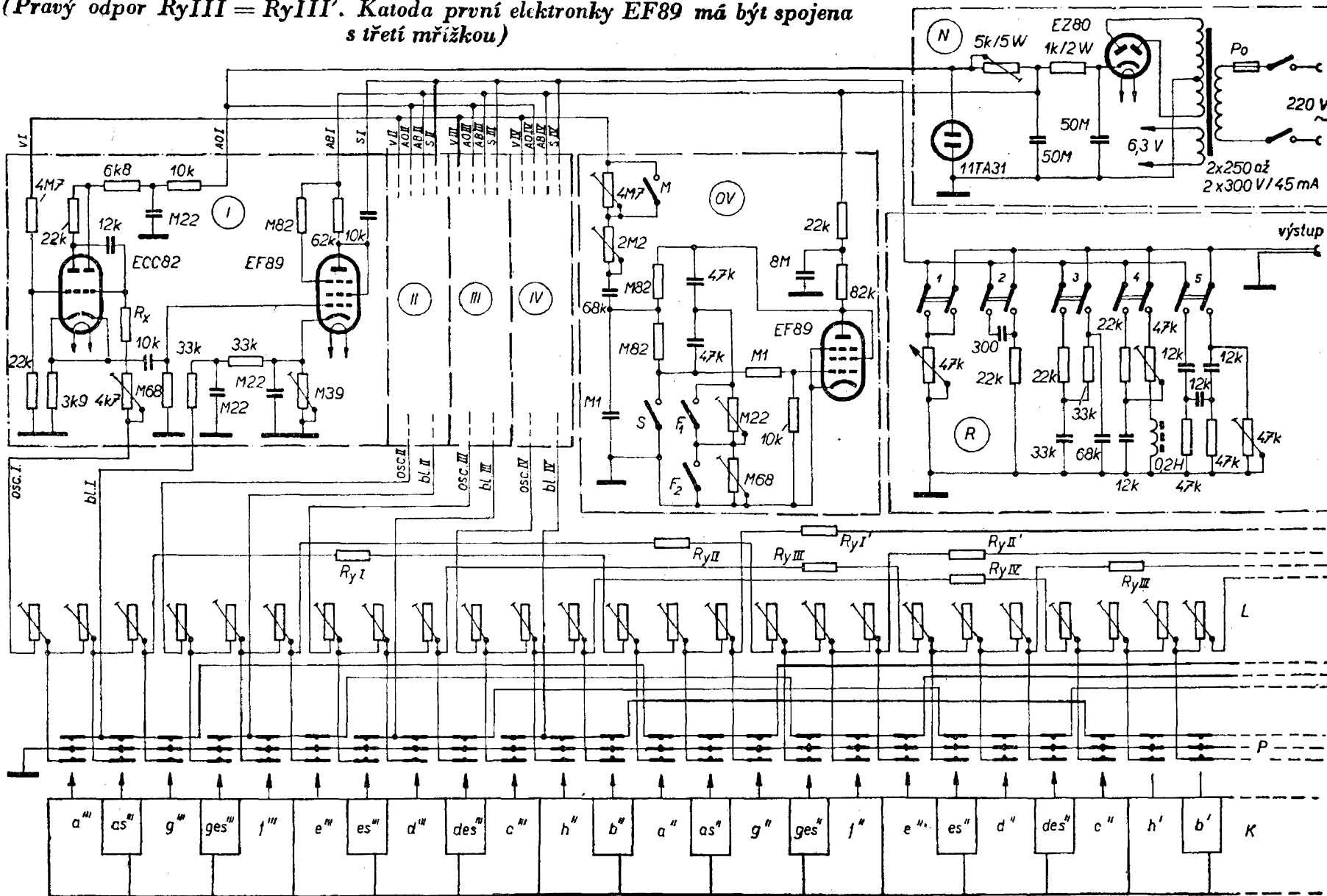
elektrických změn v dalších obvodech), jednak působí jako blokovací stupeň. Účel blokovacího stupně již také známe. Princip činnosti blokovacího stupně v našem zapojení je jednoduchý. Katoda elektronky EF89 je připojena do uzlu děliče napětí. Dělič tvoří odpor M82 a potenciometrický trimr M39. Při rozpojeném klávesovém blokovacím kontaktu má katoda blokovací elektronky proti zemi poměrně velké kladné napětí (asi 80 V). Řídicí mřížka elektronky má tedy proti katodě záporné předpětí asi 80 V. Signál přiváděný z oscilátoru nevyvolá v tomto případě změnu anodového proudu blokovací elektronky – elektronka je uzavřena. Tiskneme-li klávesu nástroje, spojí se blokovací kontakt výstupu *BL I* se zemí. To znamená, že k potenciometrickému trimru M39 v katodě blokovacího stupně se paralelně připojí odpor 66k (tento odpor tvoří dva odpory 33k v sérii). Kladné napětí na katodě značně poklesne, tím poklesne i záporné předpětí řídicí mřížky a elektronka EF89 začne propouštět signál přiváděný z tónového oscilátoru.

Spínáme-li klávesové kontakty ve směru šipek vyznačených v zapojení, sepne se nejprve kontakt ladicího obvodu oscilátoru se zemí (oscilátor se rozkmitá) a teprve v další části dráhy stisknutím klávesy se spojí se zemí kontakt blokovacího stupně. Podobně jako v dříve popisaném případě tím tedy odřízneme nežádoucí klapnutí způsobené přechodovým jevem, který by jinak při nasazování a vysazování kmitů oscilátoru silně rušil.

Řekli jsme si již na začátku, že části *II*, *III* a *IV* jsou zapojeny zcela shodně jako část *I* (všechny součásti jsou naprosto stejné). Z anod všech čtyř blokovacích stupňů přicházejí signály přes kondenzátory 10k na společnou sběrnici, která vede do rejstříkové části *R*.

Všimněme si nyní blíže propojení jednotlivých klávesových kontaktů. Klávesy jsou na našem zapojení kresleny pro lepší přehled v pohledu zdola. Vlevo je tedy klávesa nejvyššího tónu *a''* (můžeme si zvolit jakýkoli jiný tónový rozsah nástroje). První tři ladicí trimry oscilátoru *I* jsou vyvedeny na klávesové kontakty tónů *a'''—as'''—g'''*. To znamená, že při

Obr. 60. Čtyřhlasý elektronkový nástroj
 (Pravý odpor $R_{yIII} = R_{yIII}'$. Katoda první elektronky EF89 má být spojena s třetí mřížkou)



akordické hře může znít jen jeden z těchto tří tónů. Běžec potenciometrického trimru patřícího klávese g''' je dále spojen přes vyvažovací odpor R_{yI} na trojici ladicích trimrů tónů $a''-as''-g''$. Podobně je běžec ladicího trimru tónu g propojen přes odpor $R_{yI'}$ na další trojici trimrů tónů $a'-as'-g'$ atd. (podobně můžeme pokračovat v dalších nižších oktávách).

Jediným oscilátorem jsme takto obsadili plnou čtvrtinu všech kláves. Také zbývající tři oscilátory obsahují stejným způsobem další tóny, jak je zřejmé ze zapojení dvou nejvyšších oktáv klávesnice (u dalších oktáv se zapojení opakuje). U prototypu nástroje byl klávesový rozsah totožný s rozsahem akordeonu se 120 basy, tj. $3 \frac{1}{2}$ oktávy. Oscilátory pracovaly velmi spolehlivě a čistě v celém tónovém rozsahu.

Oscilátor vibráta v části OV je osazen elektronkou EF89, která je opět zapojena jako trioda. Elektronka EF89 byla zařazena jen pro jednotnost. Beze změn součástí ji můžeme nahradit elektronkou EF80, EF86, 6F31, EF22, 6BC32, jednou polovinou triody ECC83 apod.

Oscilátor vibráta pracuje v jednoduchém a spolehlivém můstkovém zapojení s dvojitým T článkem. Výstup střídavého napětí vibrátového kmitočtu vede přes kondenzátor 68k a přes dva potenciometrické trimry (2M2 a 4M7) na sběrnici, z níž jsou přes odpory 4M7 napájeny mřížky katodově vázaných multivibrátorů.

Kmitočet vibráta lze měnit stupňovitě přepínači F_1 a F_2 , přemostěnými potenciometrickými trimry M22 a M68. Těmito potenciometry si podle osobního vkusu nastavíme žádané kmitočtové rozdíly. Jsou-li oba spínače F_1 a F_2 sepnuty, je kmitočet vibráta nejvyšší a naopak (máme tedy možnost čtyř kombinací). Spínačem M volíme hloubku modulace vibráta. Maximum nastavíme opět podle vkusu potenciometrickým trimrem 2M2. Požadované minimum nastavíme potenciometrem 4M7. Sepnutím spínače S vibráto podle potřeby vyřadíme (oscilace vysadí).

V nákrese zapojení našeho nástroje je vpravo část R . Je v ní pět jednoduchých rejstříků, které lze spínat jednotlivě nebo v různých kombinacích. Zkušenější kon-

struktér může jejich počet libovolně zvětšit zkusmým použitím rejstříků, uvedených v této publikaci u jiných zapojení. Prakticky však vystačíme s těmito pěti rejstříky, které jsou při únosné jednoduchosti přijatelně kontrastní. Další výraznější rejstříky bychom museli řešit složitějšími obvody s tlumivkami, popřípadě s polovodiči nebo elektronkami.

Nevýhodou tlumivek v obvodech rejstříků je náročnost na důkladné celkové odstínění. Také naši tlumivku v rejstříku č. 4 musíme uzavřít do krabičky z ocelového plechu o tloušťce asi 2 mm.



Zbývá ještě napájecí část, označená v zapojení písmenem N . Skládá se z běžně zapojeného eliminátoru, na který navazuje obvod pro stabilizaci anodového napětí oscilátorů.

Sítový transformátor může být libovolného typu. Vyhoví jakýkoli výprodejní transformátor se žhavicím vinutím 6,3 nebo 12,6 V a s anodovým vinutím 2×250 až 2×300 V/45 mA. Vzhledem k tomu, že napětí naší rozvodné sítě vykazuje někdy až neuvěřitelné výkyvy, lze zkušenějším konstruktérům doporučit, aby sítový transformátor navinuli s plynulým přepínáním odboček primáru a napájecí část doplnili kontrolním voltmetrem. Jedině tak je možné zaručit spolehlivé ladění nástroje i tehdy, kdyby napěťové rozdíly v nestabilizovaném žhavicím obvodu mohly způsobovat rozladování oscilátorů.

V původním zapojení se osvědčila usměrňovací elektronka EZ 80, kterou samozřejmě můžeme nahradit polovodiči apod. Před stabilizátorem 11TA31 je zařazen odpor 5k/5 W. Hodnotu tohoto regulačního předřadného odporu nastavíme tak, aby stabilizátorem protékal klidový proud asi 15 mA. Nebudeme-li mít po ruce miliampérmetr, můžeme postupovat takto: zapojíme nejprve celou hodnotu odporu 5k a zapneme nástroj. Jakmile se nažhaví usměrňovací elektronka, měl by nastat ve stabilizátoru světlefialový doutnavý výboj. Nenastane-li, musíme odpor 5k pomalu postupně zmenšovat až do okamžiku, kdy se stabilizátor „rozsvítí“. Pak můžeme hodnotu odporu zmenšit odhadem ještě asi o 10 %, aby výboj ve

stabilizátoru nastal i při snížení napětí v síti. Méně zkušené amatéry upozornujeme, že předřadný odpor nastavujeme u nástroje plně osazeného elektronkami!

Tolik tedy povšechně o funkci jednotlivých částí nástroje.

Pro méně zkušené amatéry připojujeme ještě několik rad a pokynů, které zamezí zbytečnému tápání.

Při stavbě nástroje postupujeme tak, že nejprve postavíme napájecí část se stabilizátorem a pak hned díl *I*. V katodově vázaném multivibrátoru dílu *I* zapojíme do místa odporu R_x odpor nebo potenciometrický trimr 47k. Vývody *OSC I* a *BL I* spojíme předběžně s kostrou. Výstup z anody oddělovacího stupně (označení *SI*) připojíme přímo k libovolnému zesilovači. Nyní můžeme nástroj zapnout. Z reproduktoru by se měl ozvat první tón, jehož kmitočet bude možné měnit potenciometrem 47k v obvodu oscilátoru. A protože je velmi obtížné postavit katodově vázaný multivibrátor tak, aby vůbec neoscilloval, je úspěch v této fázi stavby předem zaručen.

Nyní máme za úkol prověřit funkci blokovacího stupně. Nejprve odpojíme vývod *BL I* od kostry. Běžec potenciometrického trimru M39 zapojeného mezi katodu elektronky EF89 a zem nastavíme do polohy, v níž bude blokovací stupeň propouštět signál z oscilátoru jen velmi slabě slyšitelně (to je optimální poloha běžce potenciometru, která zaručuje nehluché klíčování).

Podobně jako část *I* uvedeme do chodu ostatní oscilátory a blokovací stupeň. Vývody *BL I* až *BL IV* můžeme nyní již definitivně propojit s příslušnými klávesovými kontakty. Abychom se vyhnuli nebezpečí vyzařování rušivého klapotu, budou všechny spoje *BL* stíněné – s výjimkou spojů mezi trojicemi sousedních kontaktů.

Jako další přijde na řadu oscilátor vibráta. Je to nejchoulostivější část nástroje. Nedodržíme-li dostatečně přesně hodnoty součástek (s tolerancí alespoň 10 %), snadno nás postihne neúspěch – oscilace vibráta nenasadí. Zvláště součástí dvojitého *T* článku musí být dostatečně jakostní (nepoužíváme zde v žád-

ném případě staré papírové kondenzátory!). Při dostatečně pečlivé práci však nehrozí nebezpečí, že by oscilátor vibráta odmítal fungovat – pokud nezapomeneme na nějakou součástku nebo pokud některá z nich nebude vadná (v případě pochybností je nejrychlejší všechny součástky oscilátoru prostě vyměnit).

Rejstříková část *R* má v horní části zapojení dvě sběrníčky: vstupní a výstupní. Mezi ně zařazujeme dvoupólovými páčkovými spínači jednotlivé rejstříky. Útlum signálu procházejícího jednotlivými rejstříky je nestejně velký. Aby se při přepnutí rejstříku nezměnila skokem hlasitost zpracovávaného signálu, jsou některé rejstříky doplněny vyvažovacími potenciometrickými trimry 47k, jimiž velikost útlumu navzájem vyrovnáme.

Nakonec jsme si nechali klávesové spínače s ladicími prvky (potenciometrické trimry). Hodnota ladicích potenciometrických trimrů se podle rozsahu klávesnice mění podle tabulky *II*. Údaje uvedené v tabulce nemusí být přesně dodrženy. Použijeme-li však potenciometry příliš velkých hodnot, bude se nám jednak hůře ladit, jednak mohou nahodilé otřesy nástroj snadněji rozladit (protože malá změna polohy běžce se projeví rozladěním).

Při ladění nástroje postupujeme směrem od nejvyššího tónu – v našem případě od tónu *a'''*. Běžec prvního ladicího potenciometru (patřícího klávese *a'''*) nastavíme přibližně doprostřed odporové dráhy. Podobně nastavíme doprostřed odporové dráhy také běžec potenciometrického trimru 4k7, zařazeného do série s odporem R_x před výstupem *OSC I*. Nyní hledáme zkusmo takovou hodnotu odporu R_x , aby se z reproduktoru ozval tón odpovídající nejvyšší klávese nástroje s tak malou tolerancí, aby ji bylo možné doladit potenciometrickým trimrem 4k7, popřípadě prvním ladicím potenciometrem u klávesového kontaktu. Tón *as'''* a tón *g'''* doladíme dalšími potenciometrickými trimry. Dalším členem ladicího řetězce je odpor R_{yI} , jehož hodnotu vyhledáme opět zkusmo – podobně jako jsem hledali správnou hodnotu odporu R_x . Postup při ladění ostatních tónů je pak již stejný.

Z propojení jednotlivých oscilátorů s ladicími prvky je patrný princip kombinačních možností čtyřhlasé hry. Každou oktávu nástroje tvoří čtyři trojice kláves, k nimž patří vždy jen jediný oscilátor. Jednotlivé trojice se tedy navzájem chovají jako jednohlasé celky. Znalci harmonie se nad tímto omezením kombinačních možností pozastaví a začnou v duchu sestavovat seznam akordů, které nebude možné na tomto nástroji zahrát. Proti takovým výhradám nelze namítnout nic jiného, než že jde o skutečně netradiční pojetí nástroje, který dává hudebníkům jen omezené možnosti. Přesto by však nebylo správné lámat nad nástrojem ukvapeně hůl. Vždyť například trumpetám, klarinetům a podobným nástrojům také nikdo nevytýká, že mohou hrát jen jednohlasně. Stejně nevytýkáme houslím, že hrají nanejvýš dvojhlasně. Proč tedy odsuzovat náš nástroj za to, že neposkytuje neomezené možnosti kombinací tónů? Několikaleté praktické používání popisovaného nástroje v hudebních souborech ostatně ukázalo, že omezení kombinačních možností se při jednoruční hře neprojevuje příliš rušivě. Jistě má na tom zásluhu okolnost, že vodící tón akordu zní ve všech případech. A stane-li se při hře v orchestru, že některý tón akordu tu a tam „vypadne“, většinou se to ani nepozná. Naproti tomu je zvukový účinek takového čtyřhlasého nástroje několikanásobně vyšší než u nástroje jednohlasého. Také jako domácí nástroj prokáže velmi dobré služby a umožní nám poměrně jednoduchými prostředky těžit z výhod lahodného souzvuku elektronicky vytvářených tónů.

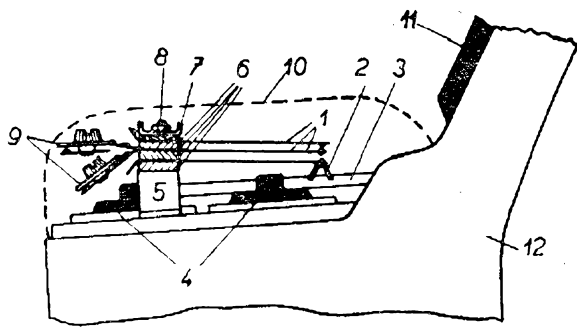
Vzhledem k tomu, že je popisovaný nástroj řešen pro jednoruční hru, je možné jej snadno vestavět přímo do akordeonu, který vhodně upravíme (vy-montujeme nepotřebné jazýčky, měchy nahradíme plechovým rámem apod.). Pro tak rozsáhlou adaptaci přichází ovšem v úvahu jen dokonale amortizovaný ná-

stroj řešen pro jednoruční hru, je možné jej snadno vestavět přímo do akordeonu, který vhodně upravíme (vy-montujeme nepotřebné jazýčky, měchy nahradíme plechovým rámem apod.). Pro tak rozsáhlou adaptaci přichází ovšem v úvahu jen dokonale amortizovaný ná-

Tab. II. – Hodnoty ladicích potenciometrických trimrů pro čtyřhlasý elektronkový nástroj

Klávesové spínače	Hodnota potenciometru
a''' až f'''	2k7 až 3k3
e''' až c'''	3k9 až 4k7
h'' až g''	6k8 až 10k
ges'' až d''	10k až 15k
des'' až á''	15k až 22k
as' až e'	22k až 33k
es' až h	33k až 47k
b až ges	47k až 56k

Pozn. – Udané hodnoty ladicích trimrů mohou být odstupňovány hruběji, popřípadě zaokrouhleny směrem nahoru.



Obr. 61. Umístění klávesových kontaktů a ladicích potenciometrických trimrů pod příklopkou akordeonu. 1 – klávesové kontakty, 2 – hliníkový můstek (dosedá na spodní kontaktní pružinu a při stisknutí klávesy ji stlačí nahoru), 3 – rameno klapky, 4 – klapky jazýčků, 5 – držák kontaktní lišty, 6 – pertinaxové pásy, 7 – hliníkový nosník profilu U, 8 – šrouby, 9 – ladicí potenciometrické trimry, 10 – příklopka nástroje, 11 – klávesnice, 12 – tělo nástroje



stroj. Při trošce dovednosti však můžeme čtyřhlasým elektronickým nástrojem doplnit i hrající akordeon.

V takovém případě postavíme elektronickou část nástroje do samostatného kufříku a do akordeonu vestavíme jen klávesové kontakty a ladicí potenciometrické trimry. Takové řešení bylo prakticky vyzkoušeno a ukázalo se, že např. do prostoru pod příklopkou lze u většiny akordeonů směstnat celou kontaktní část nástroje včetně ladicích potenciometrických trimrů. Umístění klávesových kontaktů a ladicích potenciometrických trimrů pod příklopkou nástroje je na obr. 61. Na obr. 62 je příklad uspořádání ladicích prvků.

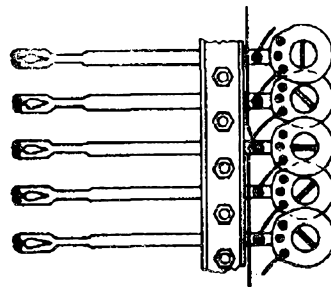
Pokud by u některého akordeonu prostor pod příklopkou nestačil, můžeme vestavět klávesové kontakty s ladicími prvky pod klávesnici akordeonu podle obr. 36 až 38.

Mechanická část elektronických klávesových nástrojů

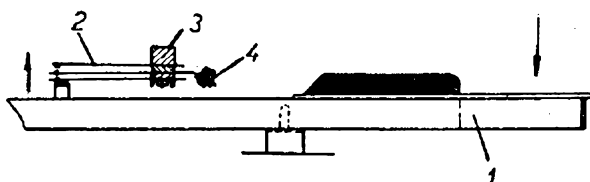
Nebudeme se zabývat tvarem a provedením skříně nebo dokonce stojánku pro náš elektronický hudební nástroj. To jsou mechanické dílce, na nichž se nedá mnoho zkazit. Zato klávesnice nástroje si zaslouhuje víc než jenom zmínku o tom, že musí odpovídat všem parametrům obvyklým u tradičních klávesových nástrojů. Pokud jde o tyto parametry, není ani tak důležitý rozměr kláves jako požadavek, aby mechanická funkce kláves umožňovala všechny náročné technické manipulace.

Velmi důležitým parametrem klávesnice je tvrdost dohmatu. Nemá-li elektronický nástroj ztěžovat techniku hry, musí jít klávesy lehce stisknout. Přitom je samozřejmé, že podél celé dráhy klávesy při stisknutí nesmí být znatelná žádná změna v tlaku (tvrdé dosednutí klávesy na kontakty apod.) Dalším důležitým parametrem klávesnice je velikost zdvihu klávesy. Četné praktické pokusy ukázaly, že někteří hudebníci dávají přednost malému zdvihu kláves (asi kolem 4 mm), který umožňuje lehkou hru, zatímco jiní dávají přednost většímu zdvihu, na který jsou zvyklí z tradičních nástrojů (asi 10 mm).

Zmínili jsme se již o tom, že jakost klávesnice bude určovat jakost celého nástroje. Většinou amatérských konstruktorů lze proto doporučit, aby v případě omezených výrobních možností použili



Obr. 62. Pohled na uspořádání ladicích prvků shora



Obr. 63. Uspořádání klávesových kontaktů v prostoru pianina. 1 - klávesa, 2 - klávesové kontakty, 3 - kontakto-
v^á lišta, 4 - ladicí trimry

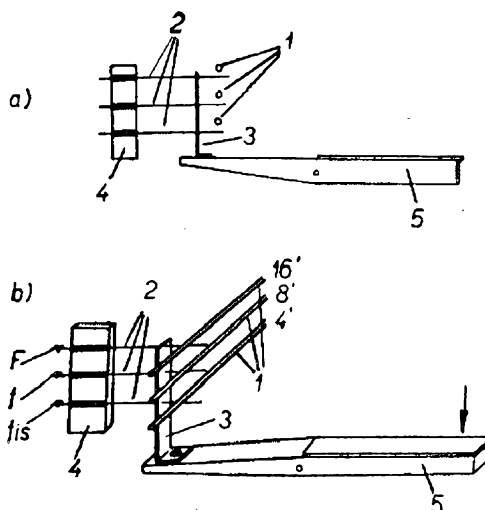
pro svůj nástroj raději starší klávesnici z vyřazeného nástroje (je například hodně vyřazených klavírů a harmonií, které je možné levně odkoupit). Jinde zase nebude nutné stavět elektronický nástroj jako samostatný celek, ale bude možné jej vestavět do nějakého neelektrického klávesového nástroje. Velmi pohodlně se dají vestavět klávesové kontakty včetně ladicích prvků např. do pianina (obr. 63).

Dalším zdrojem četných starostí bývá otázka klávesových kontaktů. U profesionálních nástrojů se nyní používají téměř výhradně drátové kontakty (ze stříbrného pružného drátu) podle obr. 64. To je však poměrně nákladné řešení. Pro amatéra by bylo dostupné použít místo stříbrných drátů např. pružné bronzové dráty, které by byly na konci pochromovány a vyleštěny. Pro většinu amatérských konstruktérů však bude mnohem jednodušší koupit si v některé specializované radioamatérské prodejně výprodejní kontaktní pérové svazky z telefonních relé apod. (jsou k dostání např. v Praze v Žitné a v Jindřišské ulici, odkud je zašlou i na dobírku). Některé telefonní kontakty bývají příliš tvrdé, ale odpomoc je snadná: zúžíme je spilováním. Jindy se zase naopak setkáme s tím, že delší kontakty v nástroji vibrují. Takové kontakty můžeme mechanicky vázat s klávesou (vodícím hřebínkem), nebo je prostě uchytíme (sevřením) v místech blíže ke středu. Všechny druhy klávesových kontaktů před montáží do nástroje důkladně očistíme a jejich dotekové plošky vyleštíme jelenicí (také po delším provozu nástroje vždy klávesové kontakty přešetíme).

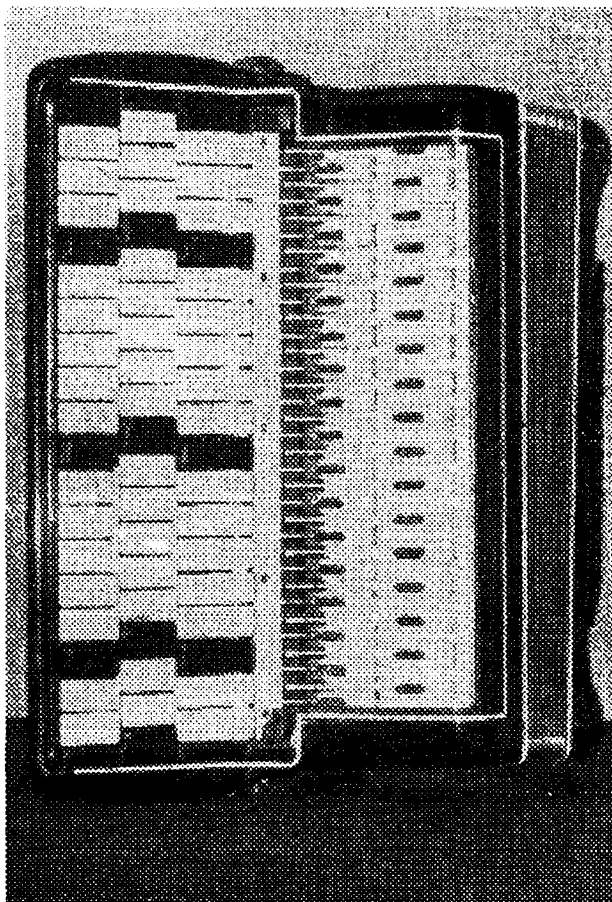
Heroldova klávesnice

Uplynulo již několik let od doby, kdy Čechoslovák František Herold vynalezl novou třířadovou klávesnici. Má ve srovnání s tradiční klávesnicí tolik výhod, že se vyplatí říci o ní něco bližšího.

Heroldova klávesnice nevznikla z pouhého nápadu, jehož uskutečnění by bylo motivováno touhou po originalitě. Jejímu vývoji předcházela celá řada pokusů směřujících k vyřešení klávesnice, která by umožňovala technicky snadnější hru než klávesnice tradiční. Současně se hledal způsob takové kombinace kláves, která by dovolovala hrát při nezměněném prstokladu (chromatickým postupem) libovolnou skladbu ve všech tóninách. Úsilí Františka Herolda bylo korunováno úspěchem: zrodil se nový druh klávesnice, která dříve nebo později pronikne začarovaným kruhem tradice i nedůvěry a najde příznivce zejména mezi těmi, kdo se chtějí naučit hrát na hudební nástroj snadno a rychle. Hlavní předností Heroldovy klávesnice je totiž nesrovnatelně jednodušší metodika výuky. Průměrný žák si na ní osvojí základní techniku hry (stupnice, akordy) několikrát rychleji než na klávesnici tradiční. Jako názorný příklad můžeme uvést, že na Heroldově klávesnici se začáteč-



Obr. 64. Drátové klávesové kontakty
a) pohled z boku; b) pohled v šikmém
průřezu. 1 - společné sběrnice, 2 - pohyblivé
drátové kontakty, 3 - izolant (plexisklo),
4 - pertinax, 5 - klávesa



Obr. 65. Akordeon s Heroldovou klávesnicí

ník-samouk naučí hrát určitou skladbu ve všech tóninách téměř za stejnou dobu, za jakou se na tradiční klávesnici naučí tutéž skladbu jen v základní tónině C dur.

Příklad praktického uplatnění Heroldovy klávesnice u akordeonu vidíme na obr. 65. Podobně je možné vybavit Heroldovou klávesnicí kterýkoli jednoduchý nebo mnohohlasý elektronický hudební nástroj. Nenechejme se odradit tím, že klávesnice se zdá na první pohled složitá. V porovnání s tradiční klávesnicí je výrobně podstatně jednodušší, protože všechny klávesy mají jen tvar obdélníků, jejichž výrobu i nezkušený amatér snadno zvládne. Všechny obdélníčky první a druhé řady kláves jsou rozměrově naprosto stejné, klávesy třetí řady jsou asi o polovinu delší.

Mechanické provedení klávesnice je znázorněno na obr. 66. Na obr. 66a vidíme, že jednotlivé řady kláves jsou navzájem uspořádány stupňovitě. Obr. 66b

ukazuje klávesnici v pohledu shora. První a třetí klávesa ve směru kolmém na osu klávesnice je vždy označena stejně. Ve skutečnosti jde o jedinou klávesu, která je uprostřed přerušena, aby uvolnila místo klávesám druhé řady. Celá klávesnice je tedy poměrně jednoduchá, protože obsahuje jen dva typy kláves (obr. 66c). Vzdálenosti mezi jednotlivými klávesami jsou stejné. Také tato okolnost je výhodná pro elektronické hudební nástroje; vzdálenost mezi jednotlivými klávesovými kontakty je neměnná a to v mnoha případech usnadňuje prostorové uspořádání ladicích prvků.

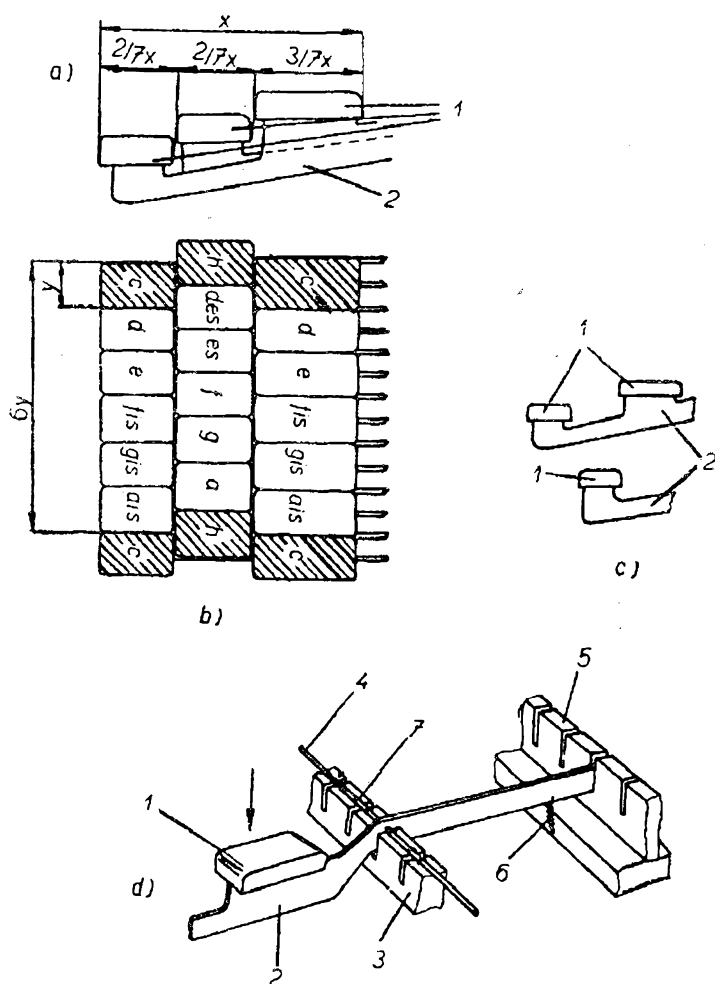
Klávesy Heroldovy klávesnice zhotovíme velmi snadno odlitím z Dentakrylu, který podle potřeby přibarvíme anilínovou práškovou barvou apod. Ramena kláves můžeme vyřezat z hliníkového plechu nebo ze dřeva. Uložení kláves zvolíme harmonikové, nebo se rozhodneme pro řešení podle obr. 66d. Nápadití amatéři přijdou určitě i na další možnosti vhodného uložení kláves (dbejme však na to, aby klávesa ve vedení „neklokta“).

Na obr. 66b si jistě mnozí čtenáři všimli, že rozsah jedné oktávy je na klávesnici rozměrově kratší než u klávesnice obyčejné (zkrácení o 1 klávesu, tj. o 1/7 délky klávesnice).

Tím se celkové rozměry klávesového nástroje poněkud zmenší, což je dalším konstrukčním přínosem.

Bylo by mylné se domnívat, že Heroldova klávesnice přinese výhody jen začátečníkům, kteří si hru na některý běžný klávesový nástroj dosud neosvojili. Naopak! Dokonce i velmi vyspělí hudebníci si přeškolením na Heroldovu klávesnici rozšíří hranice technických možností hry.

Právem se mnozí čtenáři zeptají, proč se principu Heroldovy klávesnice dosud nevyužilo u továrně vyráběných nástrojů. Důvod je prostý: výrobci hudebních nástrojů se již před lety zabývali tímto novým vynálezem (důkazem toho je konečně i akordeon na obr. 65), zavedení nástroje do výroby však narazilo na nebezpečí odbytových potíží. To je onen začarovaný kruh, o němž jsme se zmínili již v úvodu. Dokud nebude v oběhu dostatek nástrojů tohoto druhu, nenajde



Obr. 66. Heroldova klávesnice a) pohled z boku – rozměr x odpovídá celkové délce bílé akordeonové nebo klavírové klávesy (120 až 150 mm); b) pohled na část Heroldovy klávesnice shora – šířka klávesy je stejná jako šířka klávesy akordeonové (20 mm) nebo klavírové (22 mm); c) detail provedení kláves; d) příklad uložení kláves 1 – klávesa, 2 – rameno klávesy, 3 – vodící hřeben přední, 4 – klávesový hřídel (drát o \varnothing 2 až 3 mm), 5 – vodící hřeben zadní, 6 – pružina, 7 – uchycení klávesového hřídele

se dostatek učitelů, kteří by byli ochotni přeškolit se bez dostatečné záruky, že jejich iniciativa nevyzní naprázdno. Odbyt nástrojů s Heroldovou klávesnicí by zase naopak neměl větší naději na úspěch do té doby, pokud by se nevytvořila dostatečně hustá celostátní síť učitelů hry.

V historii byli častými průkopníky pokroku právě amatéři. I v případě Heroldovy klávesnice by snad mohli amatéři tu a tam pomáhat k překonání nedůvěry a konzervativního smýšlení (třeba tím, že si postaví nástroj s Heroldovou klávesnicí a uveřejní pak své poznatky o rychlosti pokroku ve zvládnutí hry).

Příslušenství elektrických hudebních nástrojů

Pod tímto pojmem nerozumíme jen zesilovací a reprodukční zařízení (o němž

si povíme alespoň ve stručnosti později). K příslušenství elektrických hudebních nástrojů by měla patřit celá řada speciálních zařízení, která mohou nějakým způsobem obohatit zvukový projev nástroje.

Takové příslušenství elektrického hudebního nástroje může být velmi rozsáhlé a jeho cena může mnohonásobně převyšovat cenu samotného nástroje. Naproti tomu lze však poměrně jednoduchými prostředky zhotovit různé drobnější doplňky, které mohou při malých investicích znásobit působivost přednesu.

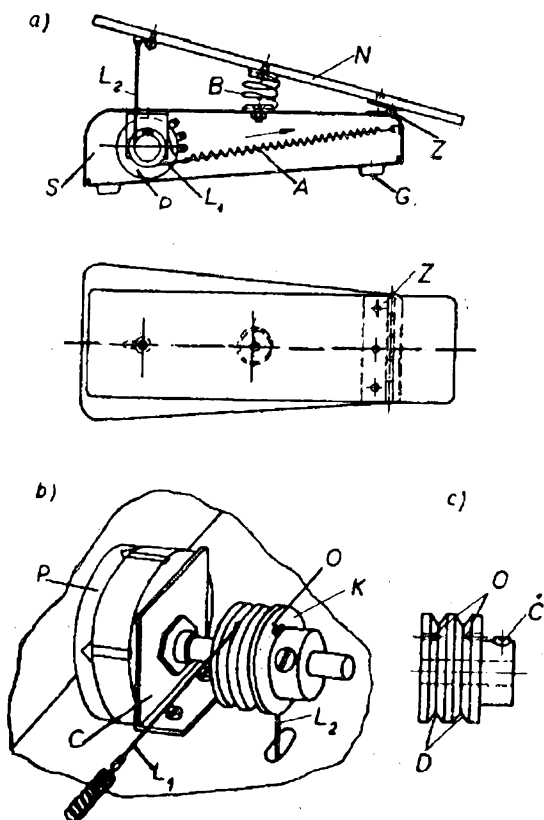
Pedálový regulátor hlasitosti

Bylo by možné navrhnout řadu dokonalých regulátorů nejrozmanitějších funkcí a vlastností. Většinu zájemců však dostatečně vyhoví skromnější řešení podle obr. 67. Jako regulační prvek zde slouží vrstvý potenciometr největšího tvaru (má delší životnost než některé

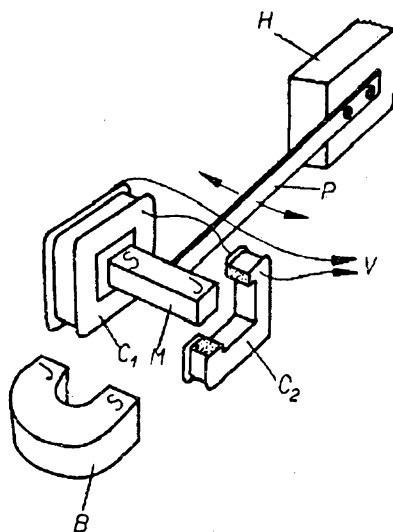
malé typy). Jeho hodnota může být v rozmezí M1 až 1M.

Uspořádání pedálového regulátoru je zřejmé z obr. 67a. Ve skřínce *S* je instalován potenciometr *P*. Na jeho hřídeli je kladka, přes kterou prochází ocelové nebo silonové stupnicové lanko. Pružina *A* působí na lanko L_1 tahem ve směru šípky. Sešlápneme-li nožní šlapku *M*, povolí tah druhé poloviny lanka L_2 a přes kladku se na hřídel potenciometru přeneše požadovaný točivý moment (odpor potenciometru se změní). V klidu působí proti tlaku nohy pružina *B*, která tlačí zesponu na nožní šlapku a udržuje běžec potenciometru v klidu na minimální výchylce.

Skříňka šlapky *S* může být z ocelového nebo hliníkového plechu, popřípadě použijeme nějaký vyřazený stykačový kryt. Pedál *N* je z organického skla (plexiskla), Novoduru apod. Další podrobnosti vyplývají z nákresu.



Obr. 67. Pedálový regulátor hlasitosti
a) celkový pohled, b) detail náhonu potenciometru, c). – kladka potenciometru



Obr. 68. Elektromagnetické vibrátové zařízení

Výrobně nejsložitější součástí pedálového regulátoru je zdánlivě kladka *K*, která je šroubkem upevněna k hřídeli potenciometru. Ve skutečnosti můžeme však kladku velmi snadno zhotovit ze staršího knoflíku k přijímači tím, že po jeho obvodu vypilujeme dvě drážky (jednu pro L_1 a druhou pro L_2). Do takto zhotovené kladky vyvrtáme po stranách otvory *O* podle obr. 66b a 66c pro uchycení konců lanek.

Nevýhodou popisovaného pedálu je, že životnost potenciometru bývá poměrně krátká (asi půl roku). Přesto se však vzhledem k malým pořizovacím nákladům vyplatí smířit se s tímto kompromisem a čas od času potenciometr vyměnit, zvláště když výměna potenciometru je rychlá a technicky nenáročná záležitost. V praxi konečně nikdy nedochází k tomu, že by bylo nutné vyměnit potenciometr okamžitě. Zpravidla avizuje již předem lehkým šelestem, že je na čase myslet na jeho výměnu. Nehrozí proto nebezpečí, že by náhlé selhání potenciometru zkazilo hudební produkci.

Elektromagnetické vibrátové zařízení

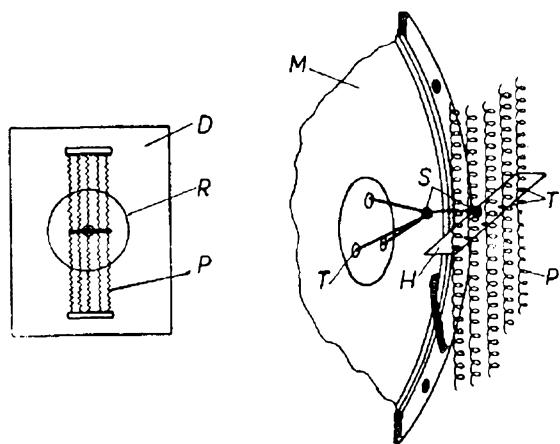
Zajímavým způsobem – elektromechanickou cestou – řeší vibráto pro kytaru nebo jiné nástroje patent [7]. Jde o elek-

tromagnetické vibrátové zařízení podle obr. 68, určené pro nástroje, které musí hudebník během hry držet.

Princip činnosti zařízení vypadá takto: pružina P má na konci závaží, které tvoří magnet M . Je naladěna podobně jako harmonikový tónový jazýček na kmitočet asi 7 Hz. Upevníme-li takovouto laděnou hmotnou soustavu uvnitř nástroje, s níž se při hře úmyslně nebo bezděčně pohybuje (upevnění ke hmotě H), kmitá pružina se závažím prakticky trvale. Doplňme-li celé zařízení dvěma vysokoimpedančními cívkami C_1, C_2 , do jejichž dutiny se magnet M v rytmu kmitočtu soustavy zasunuje, indukuje se ve vinutí cívek střídavé napětí vibrátového kmitočtu (obdobu elektromagnetického snímače se dvěma cívkami). Cívky C_1, C_2 jsou zapojeny do série tak, aby se napětí indukovaná v jejich vinutí sčítala.

Tím je celý generátor vibrátového kmitočtu hotov. Jeho kmitočtem se pak některým z obvyklých způsobů dá modulovat základní signál nástroje s elektricky snímaným tónem.

Zatím jsme vědomě přehlíželi jednu součást elektromagnetického vibrátového zařízení: trvalý magnet B . Má ostatně jen pomocnou funkci a není pro činnost zařízení důležitý. Jeho úkolem je doladzo-



Obr. 69. Dozvukový reproduktor. D – deska reproduktoru (ozvučnice), R – reproduktor, P – dozvukové pružiny, M – membrána reproduktoru, H – mosazný hřeben, T – místa spojení tmelem, S – spájeno cínem

vat svým brzdícím účinkem kmitočet kmitajícího raménka. Optimální kmitočet soustavy nastavíme zkusmo posuvem magnetu B (tj. vzájemným přiblížením nebo oddálením magnetů M a B).

Praktické využití tohoto vynálezu nebude mít u kytar pravděpodobně velkou perspektivu. Přesto je však i tento doplněk živým dokladem toho, že je stále ještě mnoho neprobádaných sfér, v nichž mohou nápadití jedinci třeba i maličkostí přispět k řešení celé řady zajímavých úkolů.

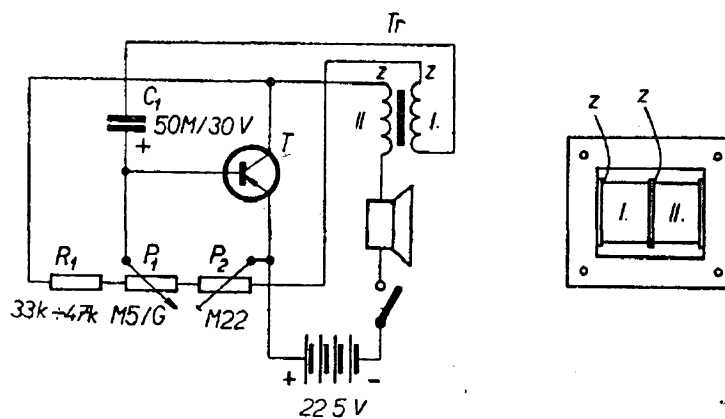
Jednoduchý dozvuk jednoduchými prostředky

V odborné literatuře byla publikována řada jednodušších i složitějších dozvukových zařízení. Obvykle se jednalo buďto o výrobně složitě (a nákladně) zařízení s magnetofonovým páskem, nebo o zařízení se zpožďovacími pružinami. Oba tyto typy dozvukových zařízení jsou pro méně zkušené amatéry příliš složitě.

Z experimentálního hlediska je velmi zajímavá konstrukce, uvedená na obr. 69 [8]. Nejde sice o dozvukové zařízení, které by dávalo nějaké ohromující výsledky, přesto však je dosažený efekt neúměrně vyšší než pořizovací náklady.

Princip zařízení je velmi jednoduchý: střed kmitačky libovolného reproduktoru mechanicky spojíme se středem pružin napjatých na ozvučnici (tak, aby mohly volně kmitat). Pružiny jsou z ocelového drátu a mají rozdílný průměr (0,3 mm až 1 mm), popřípadě i nestejný průměr závitů (4 až 7 mm). Takto upravený reproduktor připojíme obvyklým způsobem k výstupu zesilovače. Přivedeme-li do reproduktoru tón, rozechvějí se pružiny teprve po určitém časovém intervalu (setrvačnost hmoty). Tón přivedený do reproduktoru nezazní okamžitě, ale s nepatrným zpožděním, které má charakter dozvuku. Vlivem setrvačnosti chvění pružin dokmitává i kmitačka reproduktoru ještě chvíli po přerušení signálu. Doba dozvuku závisí na počtu a průměru pružin. Napětí pružin se budeme snažit na-

Obr. 70. Tranzistorový metronom



stavit minimální, aby se neprojevovaly sklony k vlastní rezonanci.

Kmitačku reproduktoru spojujeme mechanicky s pružinami teprve tehdy, až jsou pružiny napjaté. Ještě předtím však přitmelíme do středu kmitačky trojnožku z měděného drátu o průměru asi 1,5 mm, na jejíž druhý konec připájíme mosazný hřeben z tenkého plechu. Do výřezu v hřebenu zasadíme pružiny a důkladně je přitmelíme. Celý systém spojení pružin a kmitačky reproduktoru musí být zhotoven tak, aby v klidu nebyla kmitačka ani sebemeně namáhána tahem nebo tlakem pružiny.

Reproduktor má sice po této úpravě znatelně nižší citlivost, pro dané použití to však nevadí. Doplníme-li dozvukový reproduktor ještě dalším běžným reproduktorem, jsou výsledné akustické parametry takové soustavy vcelku přijatelné. Praktické pokusy ukázaly, že se toto zařízení při průměrném provedení sice nehodí pro náročnější reprodukci zpěvu nebo orchestrálních nahrávek, jako doplněk elektrického hudebního nástroje však takto jednoduše upravený dozvukový reproduktor vyhoví. Nesmíme však přehánět dobu dozvuku. Při volbě příliš masivních pružin dochází k jistému tříštění tónu.

Předností takového dozvukového zařízení je, že vzhledem k jednoduchému principu dává podstatně větší naději na úspěch než obvyklá pružinová dozvuková zařízení, která mají sice v profesionálním provedení slušné parametry, pro amatérskou výrobu jsou však většinou příliš tvrdým oříškem.

Jednoduchý tranzistorový metronom

Metronom je výtečným pomocníkem při nácvičku obtížnějších a rytmicky náročných skladeb. Pro samouka je metronom velmi dobrou průpravnou pomůckou pro pozdější hru v hudebním souboru.

Zapojení jednoduchého metronomu s jediným tranzistorem [9] je na obr. 70. Jde o zapojení tzv. blokovacího oscilátoru. Kmitočet oscilátoru hrubě nastavíme potenciometrickým trimrem P_2 . Jemně pak můžeme kmitočet řídit potenciometrem P_1 , který je kromě vypínače napájení jediným manipulačním prvkem metronomu. Pro osazení metronomu se hodí jakýkoli nízkofrekvenční výkonový tranzistor s kolektorovou ztrátou nad 150 až 200 mA. Dobře zde vyhověly tranzistory P2B, 10NU70, 11NU70 a 12NU70.

Jedinou složitější součástí metronomu je transformátoček Tr . Zhotovíme jej tak, že na libovolné transformátorové jádro o průřezu středního sloupku 0,6 až 1 cm² navineme 2 × 180 závitů drátu o \varnothing 0,24 mm CuP (vinutí I i vinutí II mají stejný počet závitů). Všimněme si na obr. 70, že dva z vývodů transformátoru Tr jsou označeny z. Znamená to začátky vinutí při stejném smyslu navíjení.

Celý přístroj vestavíme do malé dřevěné skříňky, bakelitové krabičky apod. Reproduktor ARO 031 má průměr kmitačky jen 70 mm a rozměry ostatních součástí jsou s výjimkou transformátoru Tr téměř zanedbatelné. Použijeme-li k napájení metronomu menší baterii, může mít metronom téměř kapesní formát.

Ladění elektronických hudebních nástrojů

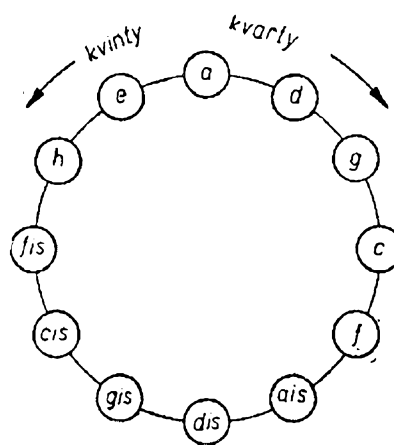
Zatím jsme nijak nezdůrazňovali, že amatérsky vyrobený elektronický nástroj musí dobře ladit. Je to samozřejmý předpoklad, bez něhož by byl sebehonosnější hudební nástroj bezcenný.

Při prvních experimentech nebudeme klást na ladění příliš velký důraz. Jakmile se však z experimentů vyklubou konečný hudební nástroj, stane se otázka správného naladění problémem číslo jedna. Je tedy nejvyšší čas, abychom si o této fázi stavby řekli něco bližšího.

Ladění zázněji

Při nepatrném cviku lze dosáhnout velmi dobrých výsledků záznějovým laděním. Je založeno na principu rázů, které vznikají při souzvuku dvou tónů s velmi blízkými kmitočty. Se souzvuky tohoto druhu se v praxi setkáváme u všech vícerejstříkových (vícehlasých) tahacích harmonik. Máme-li nastavenou určitou rejstříkovou kombinaci, začnou při stisknutí jedné klávesy současně kmitat dva jazýčky, naladěné na stejný tón. Mezi oběma jazýčky je úmyslně ponecháno jen zcela nepatrné rozladění – jeden z jazýčků je naladěn poněkud výš a druhý níž, než by odpovídalo temperovanému ladění. Toto rozladění obou jazýčků vyvolává vznik rozdílových kmitočtů (záznějů), které se zvukově projevují jako lehké vibráto (odborně chorus efekt). Kmitočet takového vibráta je tím vyšší, čím větší je rozdíl mezi kmitočty obou jazýčků a naopak.

Podobného jevu můžeme využít při ladění elektronického nástroje, máme-li k dispozici nějaký jiný jazýčkový nástroj (například jakoukoli tahací harmoniku, foukací harmoniku Bohema apod.). Postupovat budeme takto: hlasitost elektronického nástroje nastavíme pokud možno přesně na úroveň hlasitosti harmoniky, která bude sloužit jako kmitočtový normál. Také zabarvení tónu elektronického nástroje přizpůsobíme co nej-



Obr. 71. Ladičí kvartový a kvintový kruh

více zvukovému zabarvení tónu harmoniky. Vibráto elektronického nástroje vypneme. Pokud použijeme vícerejstříkovou harmoniku, zařadíme na ní takový rejstřík, při němž by zněl jen jeden jazýček (souzvuk více jazýčků by ladění záznějovou metodou naprosto znemožnil). Pak stiskneme na harmonice i na elektronickém nástroji klávesy stejných tónů a pokusíme se elektronický nástroj doladit podle harmoniky. Jakmile se začnou kmitočty obou tónů navzájem přibližovat, uslyšíme lehké vibráto. Kmitočet vibráta se bude neustále zpomalovat. Vibráto postupně přejde ve velmi pomalé výkyvy, které docela ustanou v okamžiku, kdy kmitočty tónů obou nástrojů budou přesně shodné.

Takto naladíme postupně všechny tóny elektronického nástroje poměrně rychle. Půjde jen o to, použít jako kmitočtový normál pokud možno novější nerozladěnou harmoniku. Elektronický nástroj musíme zapnout alespoň půl hodiny před laděním, abychom dosáhli ustálenějšího provozního stavu.

Ladění v kvartovém a kvintovém kruhu

Je to známá metoda, kterou používají zkušení ladiči. U jednohlasých elektronických nástrojů ji uplatnit nemůžeme. Velmi nám však přijde vhod při ladění mnohohlasých nástrojů, protože jejím kmitočtovým normálem bude ladička

s komorním a (440 Hz). Také při tomto způsobu ladění budeme využívat záznejů.

Popíšeme si praktický postup. Nejprve naladíme podle ladičky výchozí tón a' (pomocní záznejů) a pak se pokusíme naladit přesně celou oktávu, která patří k naladěnému tónu a' . Pro tento cvičný úkol dobře vyhoví jednočárkovaná oktáva, i když stejně můžeme ladit kteroukoli jinou. Ve všech případech budeme od výchozího tónu a postupovat kvartovým nebo kvintovým kruhem podle obr. 71 (oba způsoby jsou rovnocenné a pokud se rozhodneme pro jeden z nich, můžeme druhý způsob použít ke kontrole).

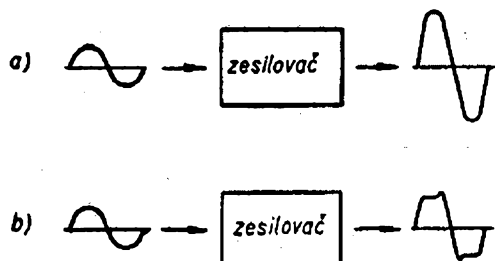
Při ladění kvartovým kruhem stiskneme nejprve klávesy a' a d' , které jsme již předtím zhruba naladili na správný interval. Při doladování tónu d' se náhle objeví známé záznej, které budou signalizovat, že se kmitočet tónu d' blíží hledanému kmitočtu temperovaného ladění. Záznej se totiž neprojevují jen v případech mírného rozladění mezi dvěma tóny stejných kmitočtů, ale také v případech rozladění dvou tónů, jejichž poměr lze vyjádřit malými celými čísly. Překontrolujeme si pro zajímavost, zda je v případě kvartového intervalu mezi tóny a' a d' tato podmínka splněna. Tón a' má kmitočet 440 Hz, tón d' má kmitočet 293,66 Hz. Poměr obou kmitočtů je přibližně 3 : 2. Kdyby měl poměr 3 : 2 platit zcela přesně, musel by mít tón d' kmitočet 293,33 Hz. Budeme-li tedy ladit pomocí záznejů tón d' proti tónu a' , bude v době umlknutí záznejů tón d' naladěn na kmitočet 293,33 Hz – tj. poněkud níž než stanoví temperované ladění. Snadno to napravíme tím, že ladění tónu d' mírně zvýšíme. Objeví se opět mírné záznej velmi nízkého kmitočtu. Budeme předběžně předpokládat, že se nám tím podařilo vyladit tón d' přesně na kmitočet 293,66 Hz.

Přistoupíme k ladění dalšího tónu, jímž je podle kvartového kruhu tón g' . Postup bude stejný. Stiskneme klávesy tónů d' a g' , doladíme tón g' nejprve na kmitočet, při němž budou záznej nulové. Potom podobně jako u tónu d' zvýšíme ještě poněkud ladění tónu g' . Přitom se pokusíme dosáhnout toho, aby kmito-

čet záznejů mezi tóny d' a g' byl shodný s kmitočtem záznejů mezi tóny a' a d' (aby vzájemné rozladění bylo vždy stejně veliké). Stejným způsobem pak budeme ladit tóny g' a c' , c' a f' atd., až se podle vyznačeného směru kolem kvartového kruhu dostaneme zpátky k výchozímu tónu a' . Pokud jsme ladili dobře, budou mít záznej mezi poslední dvojicí tónů e' a a' stejný kmitočet jako záznej mezi všemi ostatními kvartovými intervaly. Napoprvé se nám to určitě nepovede. Po několika pokusech však nebude dělat obtíže nastavit optimální velikost rozladění.

Postup při ladění podle kvintového kruhu je podobný. Rozdíl je však v tom, že temperovaný kvintový interval je poněkud menší, než by odpovídalo celočíselnému poměru. To znamená, že v okamžiku, kdy při ladění tónu záznej ustanou, bude mít tento tón vyšší kmitočet než odpovídá temperovanému ladění. Budeme-li tedy chtít takový tón naladit přesně, musíme jeho kmitočet poněkud snížit. Opět se projeví záznej velmi nízkého kmitočtu. Tímto způsobem naladíme nejprve tóny $a' - e'$, pak tóny $e' - h'$ atd., až se opět vrátíme k tónu a' . Postup bude tentokrát v opačném směru než při kvartovém ladění.

Ladění podle kvartového a kvintového kruhu se znamenitě uplatní zvláště u nástrojů, které pracují jen s dvanácti laděnými tónovými oscilátory a s děliči kmitočtu. Osvojíme-li si časem tuto jednoduchou metodu ladění, nebude nám dělat potíže kdykoli pohotově přizpůsobit ladění našeho nástroje ladění jiných nástrojů orchestru apod.



Obr. 72. Příklad nezkrasleného a zkrasleného zesílení. a) nezkraslené zesílení sinusového signálu, b) harmonicky zkraslený signál

Ladění kvartovým nebo kvintovým kruhem můžeme stejně dobře uplatnit i u mnohohlasých nástrojů s volně kmitajícími oscilátory. Stačí naladit jednu oktávu nástroje a další tóny pak již snadno naladíme záznejovou metodou.

Zesilovací a reprodukční zařízení

Nezbytnou a funkčně nedílnou součástí každého elektrického hudebního nástroje je zesilovací a reprodukční zařízení. Jednoduché praktické pokusy dokáží, že dobrý zesilovač s dobrou reproduktorem soustavou mohou dokonce i z průměrného elektrického hudebního nástroje udělat úplný koncertní nástroj. Nedokonalé zesilovací a reprodukční zařízení dovede naproti tomu znehodnotit i sebedokonalejší nástroj.

Celou problematiku nelze vtěsnat do několika posledních stránek, povíme si však něco alespoň o základních otázkách.

Zesilovače

Je až zarážející, jak málo vědí o zesilovačích i profesionální hudebníci (a zpěváci), kteří se zesilovačem pracují i několik hodin denně. Také celé řadě méně zkušených amatérů chybějí základní informace o tom, jaké parametry jsou či nejsou pro řádnou funkci zesilovače důležité.

Hlavním (a často i jediným) kritériem jakosti zesilovače bývá v méně zasvěcených kruzích výstupní výkon. Proti tomu nelze nic namítat. Je jistě důležité, aby nástroj připojený k zesilovači měl potřebný dynamický rozsah (aby v potřebné hlasitosti ozvučil určený prostor). To je ovšem velmi relativní požadavek, pokud jej neupřesníme dalšími doplňujícími podmínkami. Takových doplňujících podmínek je mnoho a z odborného hlediska mají mnohé z nich větší důležitost než samotná velikost výstupního výkonu. Podívejme se blíže alespoň na ty nejdůležitější.

Kmitočtový rozsah zesilovače

Sebevětší výstupní výkon zesilovače nám nebude nic platný, nedokáže-li takový zesilovač rovnoměrně zesílit všechny zpracovávané (přenášené) kmitočty, které budeme přivádět na jeho vstup.

Splnění takového požadavku bývá však slabinou mnohých méně jakostních zesilovačů (zejména amatérských výrobků), které sice dokáží rovnoměrně zesílit kmitočty v oblasti středního zvukového pásma, ale nezesilují na potřebnou míru krajní nízké a vysoké kmitočty, ležící v blízkosti obou hranic pásma. Jaké to má nevýhody? Zesilovače toho druhu nejsou schopné zesílit například nejhlubší tóny nástroje (což je velmi kritické zvláště u basových nástrojů). Na druhé straně zvukového pásma bývají zase naopak odřezávány vyšší harmonické kmitočty, které dávají charakteristické zabarvení smyčcům, kovovým strunám trsacích nástrojů apod.

Abychom si utvořili představu o tom, v jakém kmitočtovém rozsahu má být zesílení zesilovače rovnoměrné (s povolením malých odchylek do ± 3 dB), sáhne k normě ČSN 367430.

Norma stanoví, že zesilovač I. jakostní třídy musí rovnoměrně zesilovat kmitočty v rozsahu od 40 Hz do 15 kHz. Zesilovač II. třídy má stanoven kmitočtový rozsah od 60 Hz do 12 kHz, rozsah zesilovače III. třídy je 100 Hz až 8 kHz.

Rovnoměrné zesílení libovolných tónů stanoveného kmitočtového rozsahu není však stále ještě postačujícím parametrem. Kládeme si další požadavek: zesilovač musí být schopen zesílit přiváděný tón (signál) čistě a nezkresleně.

Osvětlíme si to pomocí příkladu na obr. 72. Zde přivádíme na vstup zesilovače signál sinusového tvaru. Pokud zesilovač nezkresluje, má výstupní signál nezměněný průběh (tvar); zvětší se jen amplituda (zvětšení není ovšem zakresleno v měřítku).

Zkresluje-li zesilovač, liší se průběh výstupního signálu od signálu vstupního; hovoříme o tzv. harmonickém zkreslení.

Jiným druhem tvarového zkreslení je zkreslení intermodulační. Jak k němu do-

chází? Přivádíme-li na vstup zesilovače dva nebo více rozdílných kmitočtů (např. tóny dvou strun kytary), vznikají na výstupu navíc ještě součtové a rozdílové kmitočty.

Oba uvedené druhy tvarového zkreslení se u moderních zesilovačů (se zápornými zpětnými vazbami) projevují jen zcela nepatrně. Podle ČSN je maximální přípustné harmonické zkreslení u zesilovačů I. třídy kolem 2 % (norma stanoví rozdílné odchylky v různých kmitočtových oblastech pásma). U zesilovačů II. třídy je maximální povolené zkreslení 5 % a u zesilovačů III. třídy 8 %.

Intermodulační zkreslení bývá průměrně třikrát větší než zkreslení harmonické.

Kromě harmonického a intermodulačního zkreslení se u zesilovačů setkáváme s dalšími druhy zkreslení, které jsou však již méně znatelné.

Z hlediska volby a použití (nebo i konstrukce) zesilovačů je důležité vědět, že zkreslení zesilovače není konstantní parametr, který by byl nezávislý na okamžitém provozním stavu zesilovače. Z praxe víme, že například při přebuzení zesilovače dochází ke znatelnému zkreslení, které se projevuje velmi nečistým přednesem. Také v případech, kdy vybudíme zesilovač na plný výkon, bývá zkreslení větší, než když se spokojíme s výkonem asi o 1/4 až 1/3 nižším. Zvolíme proto raději vždy výkonnější zesilovač, než je k ozvučení prostoru nezbytně nutné.

Zbývá ještě celá řada dalších podmínek, kterým musí dobrý zesilovač vyhovovat. Jsou to například: dobrá stabilita i při mezních pracovních podmínkách, odolnost proti mikrofoničnosti, mechanická i elektrická pevnost, odolnost proti vlhku i teplu a dostatečně veliký odstup hluku (rozumíme tím odstup rušivého pozadí, jako jsou např. síťový brum, šum tranzistorů, elektronek a odporů).

U našich profesionálních zesilovačů jsou poslední jmenované podmínky stanoveny rovněž příslušnou normou, kterou výrobní podniky přísně dodržují. Mnohem horší je to s amatérskými výrobky, u nichž se často setkáváme zejména s nedostatečným odstupem hluku (u elektronkových zesilovačů to bývá

přílišný brum, u tranzistorových zesilovačů neméně rušivý šum).

Z těchto informací vidíme, že dobrý zesilovač musí vyhovovat značnému množství náročných podmínek. S tím musí počítat zejména méně zkušení amatéři, kteří se někdy mylně domnívají, že k postavení jakostního zesilovače stačí nějaký „osvědčený“ stavební návod. Než se tedy rozhodneme pro stavbu nějakého složitějšího zesilovače, ověříme si své síly nejprve na několika jednodušších výtvorech.

Reprodukční zařízení

Sebejakostnější zesilovač nebude vykazovat uspokojivé výsledky, pokud současně nepoužijeme odpovídající reprodukční zařízení. Zcela průměrný zesilovač může jako doplněk hudebního nástroje dávat překvapivě dobré výsledky, neopomeneme-li docenit úlohu posledního článku zesilovacího řetězce – reproduktoru.

Nezapomínejme nikdy na to, že samotný reproduktor je jen stavebním prvkem, který sám o sobě ani zdaleka nemůže zajistit požadovanou věrnost přednesu. Nestačí tedy (jak bývá někdy zvykem) instalovat takový reproduktor na libovolný kus prkna v domnění, že kvalita přednesu bude určena parametry reproduktoru.

Chceme-li mít alespoň průměrně dobrou reprodukci, musíme respektovat některé důležité zásady.

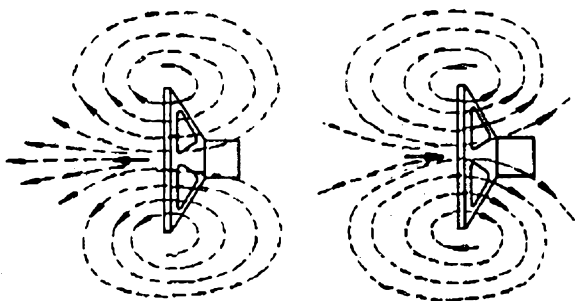
Jednou z prvních je vhodné přizpůsobení impedance reprodukční soustavy k impedanci výstupu zesilovače. Má-li zesilovač např. výstupní impedanci 4 Ω, musíme k jeho výstupu připojovat reproduktor, jehož impedance je rovněž 4 Ω. Chceme-li k zesilovači připojit větší počet reproduktorů (reprodukční soustavu), musí být výsledná impedance takové soustavy rovněž 4 Ω. Nelze tedy v tomto případě například paralelně připojit tři reproduktory, z nichž každý má impedanci 4 Ω, protože bychom tím zatížili výstup zesilovače impedancí 1,33 Ω. Kdybychom naopak zapojili uvedené tři reproduktory do série, vzrostla by jejich

impedance na 12Ω a požadavek správného přizpůsobení by pro náš případ opět nebyl splněn.

Při nesprávném přizpůsobení impedance reproduktorů k výstupní impedanci zesilovače (s rozdílem impedance větším než 20 %) začíná docházet k nežádoucím důsledkům: účinnost zařízení klesá a zkreslení vzrůstá. Pokud tedy chceme připojit k zesilovači větší počet reproduktorů, musíme je navzájem propojit tak, aby byl uvedený požadavek splněn (nejsnáze toho dosáhneme vhodným sériově-paralelním zapojením).

Chceme-li dokonale využít výkonu zesilovače, musíme k jeho výstupu připojit takový počet reproduktorů, aby se součet jejich příkonů (ve VA) nejméně rovnal výstupnímu výkonu zesilovače (a to i za předpokladu, že nehodláme v praxi výkonu zesilovače plně využívat). V případě, že to okolnosti dovolují, měli bychom použít (pro náročný přednes) reprodukcí soustavu, jejíž příkon (stanovený výrobcem) by dvoj- až trojnásobně přesahoval využívaný výkon zesilovače. Takovým způsobem výrazně snížíme zkreslení, které se projevuje zejména při reprodukci trsacích a bicích nástrojů vlivem napěťových špiček tónových náběhů. Větší předimenzování reprodukcí soustavy nebude ovšem přicházet v úvahu u přenosných zařízení hudebních souborů (přílišné rozměry, přílišná váha), nicméně zbytečné šetření na příkonu reprodukcí soustavy není na místě.

Nyní k samotným ozvučnicím. Je celá řada typů ozvučnic, z nichž nejjedno-



Obr. 73. Akustický zkrat. a) směr proudění částic vzduchu při pohybu membrány reproduktoru dopředu, b) opačný směr proudění při pohybu membrány dozadu

dušší je desková. Není-li reproduktor opatřen ozvučnicí, klesá jeho účinnost velmi znatelně zejména u nižších kmitočtů. Čím je to způsobeno? Představme si membránu reproduktoru jako píšť. Zpomalíme-li si v představě dráhu jednoho kmitu (tj. jednoho pohybu membrány dopředu a zpět), snadno pochopíme, že směr pohybu molekul okolního vzduchu bude zhruba odpovídat obr. 73. Vysvětlení je jednoduché: při pohybu membrány dopředu dochází na přední straně membrány ke zhuštění částic vzduchu a na zadní straně k odpovídajícímu zředění. To má za následek proudění částic vzduchu ve vyznačeném směru. Projevuje se to zejména při nízkých kmitočtech, které mají větší vlnovou délku. Takovému jevu říkáme akustický zkrat. Má za následek pokles akustického výkonu reproduktoru pro všechny kmitočty, jejichž vlnová délka je větší než vzdálenost mezi přední a zadní stěnou membrány. Chceme-li akustickému zkratu zabránit, musíme do cesty kmitajících vzdušných částic vložit umělou překážku. Takovou překážkou může být v nejjednodušším případě desková ozvučnice.

Nevýhodou deskové ozvučnice jsou přílišné rozměry. Dává se proto přednost ozvučnicím skříňového typu. Skříňové ozvučnice mohou být otevřené, uzavřené a speciální (bassreflexové, s akustickými obvody apod.).

Výhodou otevřených ozvučnic je, že do jejich prostoru lze (u přenosných zařízení) instalovat např. zesilovač nebo jiné doplňky. Uzavřené ozvučnice mohou naopak proti tomu vyloučit vliv zpětného vyzařování reproduktoru a dávají proto velmi dobré zvukové výsledky i v oblasti nízkých kmitočtů. V literatuře najdeme také mnoho návodů ke stavbě speciálnějších skříňových ozvučnic, které však bývají obvykle příliš náročné na dodržení přesných rozměrů skříně ve vztahu ke skutečnému rezonančnímu kmitočtu reproduktoru. Z tohoto hlediska je většinou výhodnější spokojit se s dobře provedenou uzavřenou skříňovou ozvučnicí jednoduchého tvaru. Přitom není nutné klást na dodržení určitého tvaru důraz. Daleko důležitější bude věnovat zvýše-

nou péči důkladnému mechanickému provedení skříně (zhotovíme ji např. z laťovky tloušťky asi 18 mm). Skříň musí být uvnitř řádně akusticky odtlumena (např. plstí nebo Molitanem apod.), přičemž vnitřní čistý obsah má být pro běžné přímovyzářující reproduktory větší než asi 50 litrů.

Zbývá ještě otázka výběru reproduktorů. Zatím jsme se zabývali jen jejich příkonem a impedancí. Velmi důležitým parametrem reproduktoru je však také jeho kmitočtový rozsah. Hranice kmitočtového rozsahu jsou u jednotlivých reproduktorů značně rozdílné (najdeme je v příslušných katalogích). Některé druhy reproduktorů mají poměrně široký kmitočtový rozsah (např. eliptické reproduktory ARE 669 a ARE 689 mají rozsah od 60 Hz do 12 kHz), zatímco jiné speciální hlubokotónové nebo vysokotónové reproduktory mají rozsah značně užší (musíme je proto vhodně kombinovat).

Za zmínku stojí, že ještě v letošním roce přijde na trh nový typ reproduktoru (Tesla ARZ 669), který má při malých rozměrech velmi nízkou rezonanci. Reproduktor má průměr 203 mm, váhu 0,82 kg, příkon 5 VA, jmen. impedanci 4 Ω a kmitočtový rozsah 28 Hz až 6 kHz. Zajímavé je, že se plný uvedený kmitočtový rozsah získá již při použití malé uzavřené skříňové ozvučnice o obsahu 25 litrů (což uvítají zvláště majitelé basových hudebních nástrojů).

Reproduktorem ARZ 669 bude prakticky zaplněna poslední mezera v dosavadním sortimentu reproduktorů, kterých je na našem trhu dostatek. Amatérský konstruktér si tedy může vybrat takové typy reproduktorů, které by právě odpovídaly jeho představám a požadavkům. Znovu si však připomeňme, že samotný reproduktor je nutno chápat jen jako stavební prvek. Jestliže se v katalogu reproduktorů například dočteme, že reproduktor ARE 669 má kmitočtový rozsah od 60 Hz do 12 kHz, neznamená to ještě, že tytéž vlastnosti bude mít také reproduktorová soustava, kterou těmito reproduktory osadíme. Praktické výsledky ukázaly, že například reproduktorová skříň o obsahu asi 180 litrů,

která byla osazena čtyřmi reproduktory ARE 669, dokázala ještě velmi dobře reprodukovat i kmitočty kolem 40 Hz (což odpovídá tónu nejnižší E struny kytarbasy). Horní hranice kmitočtového rozsahu přitom zůstala zachována. Z toho je patrné, že není nezbytně nutné stavět nějaké nákladné reproduktorové kombinace v případech, kdy nám vyhoví vhodné reproduktory jednoho typu. Méně zkušeným konstruktérům tím odpadne řada problémů se zapojováním různých výhybek, které často zbytečně zhoršují účinnost soustavy (zejména jsou-li navrženy jen tak „od oka“).

Připojujeme-li k zesilovači větší počet reproduktorů, musíme je správně fázovat. Co to znamená? Kdyby byly například dva reproduktory zapojeny v protifázi, byl by pohyb jejich membrán vždy protisměrný. V okamžiku, kdy by se membrána jednoho reproduktoru pohybovala dopředu, byl by směr pohybu membrány druhého reproduktoru právě opačný. Docházelo by tak mezi oběma reproduktory k nežádoucímu vyrovnání akustického tlaku, který by byl určitou obdobou jevu z obr. 73.

Všechny novější reproduktory Tesla mají jeden z vývodů cívky kmitačky označen červenou tečkou, kterou musíme při propojování většího počtu reproduktorů respektovat. Reproduktory budou správně fázovány tehdy, budeme-li tyto červené tečky respektovat podobně jako např. kladné póly baterií, které chceme řadit paralelně, sériově nebo sériově-paralelně.

Budeme-li potřebovat fázový souběh několika reproduktorů dodatečně zjistit, budeme postupovat takto: k jednomu vodiči přívodní šňůry připojíme jeden pól baterie 4,5 až 9 V, na membránu kteréhokoli z měřených reproduktorů přiložíme lehce prst a druhým vodičem přívodní šňůry několikrát lehce „tukneme“ o druhý pól baterie. Prstem snadno ucítíme, kterým směrem se membrána reproduktoru vychýlila. Jsou-li všechny měřené reproduktory správně fázovány, budou se membrány všech reproduktorů vychylovat jedním směrem. V opačném případě bude nutné prohodit u příslušných reproduktorů přívoody.

Neřekli jsme si ještě nic o správném umístění reproduktorů v orchestru. Zde se často páchají veliké křivdy nejen na základních zásadách akustiky. Mnohdy bývá ignorováno i hledisko estetiky. Začneme otázkou volby umístění reproduktorové soustavy. Zde by se měli hudebníci především řídit snahou poskytnout posluchači základní dojem plastičnosti zvuku jednotlivých elektrických hudebních nástrojů. Takový dojem je samozřejmě zcela setřen, vychází-li zvuk všech nástrojů z jediné reproduktorové soustavy nebo prostě z jediného místa. Z tohoto hlediska by bylo správné, aby pokud možno každý elektrický hudební nástroj měl samostatný zesilovač se samostatnou reproduktorovou soustavou, která by byla instalována v blízkosti hudebníka (nejlépe mírně stranou za hudebníkem nebo před ním apod.). Na posluchače působí totiž velmi rušivě, slyší-li zvuk z jiného místa, než kde je hudebník s příslušným nástrojem.

LITERATURA

- [1] Mgr. inž. M. Proniewski: Proste elektronowe instrumenty muzyczne, Radioamator (Pol.) 7/1965, str. 159.
- [2] Mgr. inž. M. Proniewski: Proste elektronowe instrumenty muzyczne, Radioamator (Pol.) 8/1965, str. 188.
- [3] Ing. O. Horna: Zajímavá zapojení s tranzistory, SNTL 1963, str. 66.
- [4] A. T. Hawkins: The Transivox Monophonic Organ, The Radio Constructor (Angl.) 1/1965, str. 402.
- [5] Prospekty a podklady fy Hohner AG., Trossingen (NSR).
- [6] Prospekty a podklady fy VEB Blechblas- und Signal-Instrumenten-Fabrik, Markneukirchen (NDR).
- [7] G. Pötzl: Patentní spis č. 27 696 (NDR).
- [8] D. Ende: Selbstgebaute Nachhall-einrichtung, Radio und Fernsehen (NDR) 1/1965, str. 28.
- [9] V. Trojan: Tranzistorový metronom, Amatérské radio 9/1960, str. 249.

OPRAVA

V „Radiovém konstruktéru“ 2/1965 v obr. 18 na str. 40 má být na odbočce 8 transformátoru „sít. Tr“ uvedeno napětí 43 V, nikoli 51 V. Na odbočce 7 pak bude 35 V. Pro získání napětí 51 V je třeba přivínout za odbočku 8 dalších 20 závitů jako třetí vinutí L_{2C} . Dále doporučujeme použít na místě R_2 a R_4 raději drátové potenciometry pro větší zatížení. Uvedené typy TP 680 jsou zde zatíženy více, než odpovídá jejich povolenému katalogovému údaji 0,5 W.

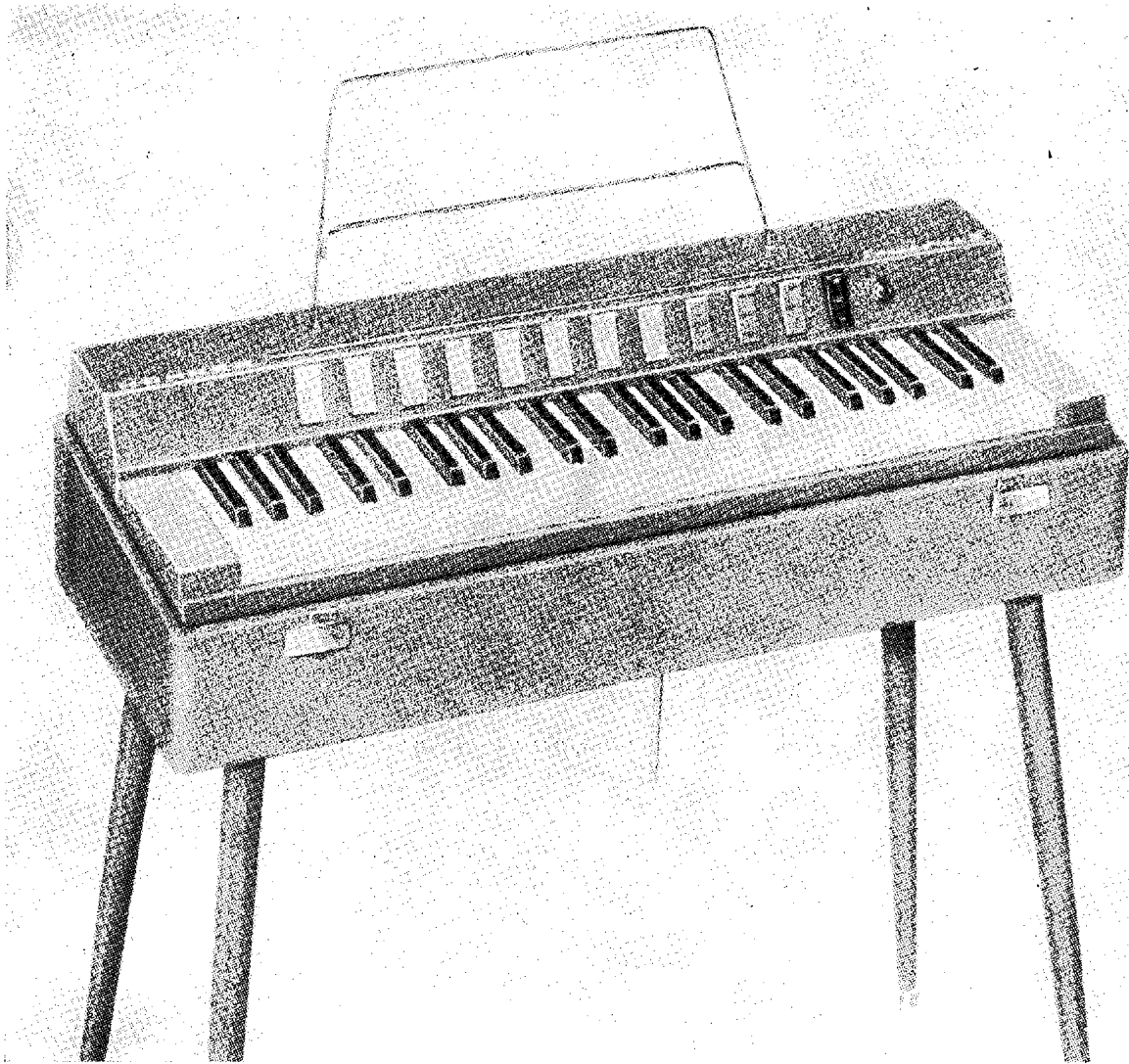
* * *

Upozorňujeme čtenáře, že během příštího roku vyjde v SNTL od Bohuslava Hanušě publikace „Amatérská stavba elektrických hudebních nástrojů“. Zájemci v ní najdou řadu návodů ke stavbě nejrozmanitějších elektrických hudebních nástrojů a také odpověď na řadu otázek, které vzhledem k omezenému rozsahu nemohly být zodpovězeny v této publikaci.

RADIOVÝ KONSTRUKTÉR – časopis Svazarmu, vychází dvouměsíčně. Vydává Vydavatelství časopisů MNO, Praha 1, Vladislavova 26, tel. 234 355-7 ● Hlavní redaktor František Smolík ● Redakční rada: K. Bartoš, L. Březina, inž. J. Čermák, K. Donát, O. Filka, A. Hálek, inž. M. Havlíček, V. Hes, inž. J. T. Hyan, K. Krbec, A. Lavante, inž. J. Navrátil, V. Nedvěd, inž. J. Nováková, inž. O. Petráček, dr. J. Petránek, K. Pytner, J. Sedláček, L. Zýka ● Redakce Praha 2, Lublaňská 57, telefon 223 630 ● Ročně vyjde 6 čísel. Cena výtisku 3,50 Kčs, pololetní předplatné 10,50 Kčs, roční předplatné 21,— Kčs ● Rozšiřuje Poštovní novinová služba, v jednotkách ozbrojených sil VČ MNO – administrace, Praha 1, Vladislavova 26. Objednávky přijímá každý poštovní úřad a doručovatel ● Dohledací pošta Praha 07 ● Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS – vývoz tisku, Jindřišská 14, Praha 1 ● Tiskne Naše Vojsko, závod 01, Na valech 1, Praha 6, Dejvice ● Za původnost příspěvků ručí autor. Redakce rukopis vrátí, bude-li vyžádán a bude-li připojena frankovaná obálka se zpětnou adresou ● Toto číslo vyšlo 21. února 1966.

© Vydavatelství časopisů MNO Praha

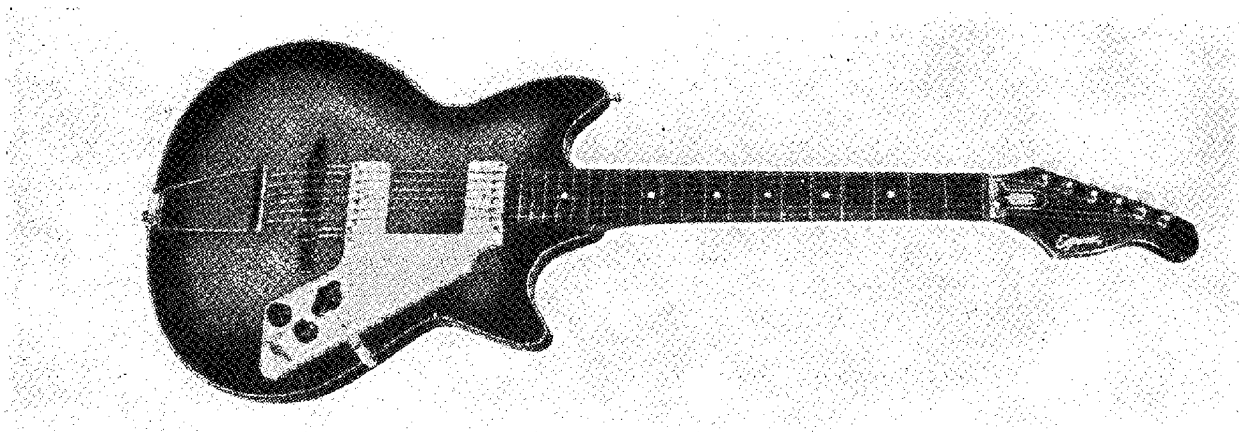
A-23*61078



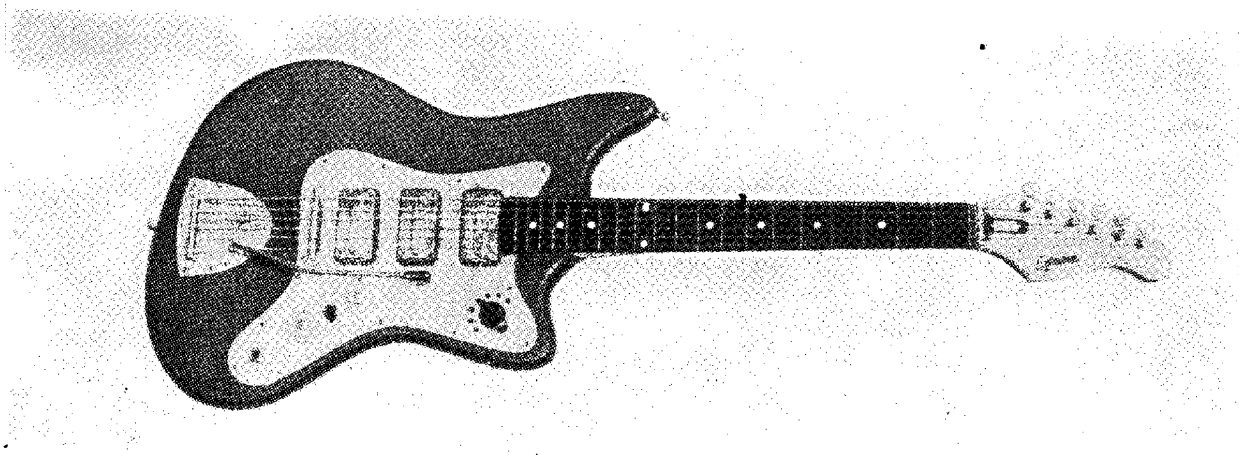
Klávesový mnohohlasý tranzistorový nástroj Hohner-Symphonic 30 (ve skříněovém provedení)



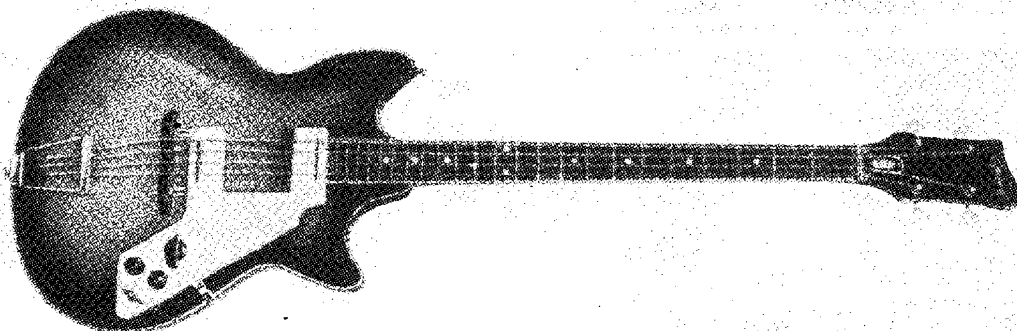
Elektronická kytara PRINCESS 5 (holandské firmy Egmond)



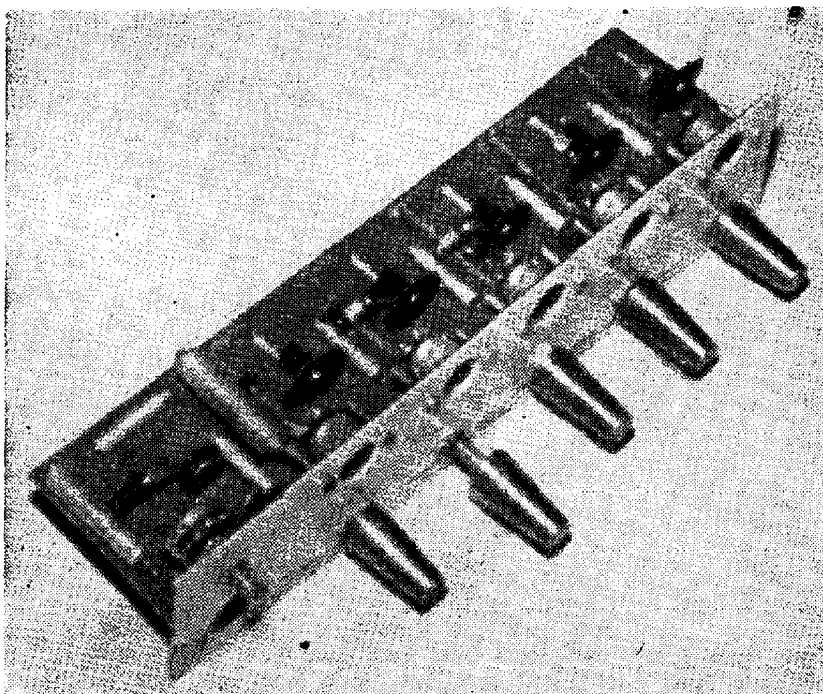
Elektrofonická kytara TOKYO 1 (firma Egmond)



Elektrofonická kytara TYPHOON 2 (firma Egmond)

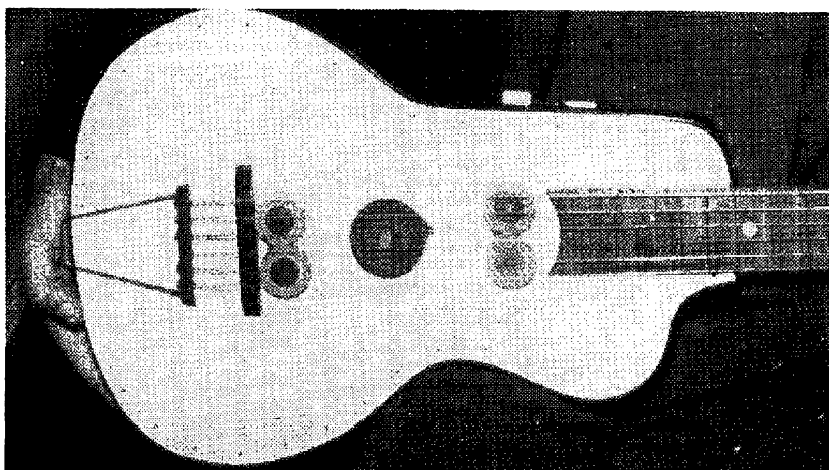


Elektrofonická kytarbasa TOKYO 4 BASS (firma Egmond)



Mixovací pult pro čtyři elektrofonické kytary a jeden dynamický mikrofon. Zařízení je postaveno na plošných spojích a osazeno tranzistory 0C70. Úroveň společného výstupu je řízena potenciometrem, vstupy samostatně. Zesilovač je osazen tranzistory 0C72 a $2 \times 0C26$ bez transformátoru na výstupu. Výkon je asi 10 W.

Dvoumanuálové polyfonní elektronické varhany, postavené na principu „Minshall“, tj. pětioktávové děliče kmitočtu řízené základním oscilátorem. Rejstříkové filtry na principu formantů byly nahrazeny tlumivkovými filtry. Horní manuál, hlavní manuál i pedály mají samostatné tónové rejstříky.



Kytarový snímač vyřešený jako cívky navinuté na kruhové feromagnety, které jsou souhlasně pólovány a budou doplněny pólovým nastavcem umístěným jen na horní straně magnetů k vyrovnání akustické síly tónů.

(Autorem všech konstrukcí na této straně je s. Vybulka ze Znojma)