

Obvod T_4 , R_{12} , D_7 chrání sondu před přepólováním napájecího napětí. Tranzistor T_4 bude otevřen pouze při připojení napětí správné polarity. Je saturován a proto úbytek napětí na něm je malý – řádu desítek mV.

Změřené parametry

Závislost vstupního proudu na vstupním napětí

U_{vst} [V]	I_{vst} [μA]		U_{vst} [V]	I_{vst} [μA]	
	vzorek 1	vzorek 2		vzorek 1	vzorek 2
0,1	-304	-310	1,6	-27	-25
0,2	-286	-290	1,7	0	0
0,3	-260	-270	1,8	10	12
0,4	-250	-252	2,0	48	48
			2,2	64	64
0,5	-230	-235	2,4	123	125
0,6	-212	-215	2,6	160	162
0,7	-192	-195	2,8	199	200
0,8	-175	-178	3,0	230	215
0,9	-156	-158	3,5	318	320
1	-138	-140	4	380	386
1,2	-105	-102	4,5	435	435
1,4	-67	-64	5	485	490

Školní generátor BK 124

slouží jako zdroj harmonického signálu v kmitočtovém rozsahu 10 Hz až 1 MHz. Vstupní napětí lze nastavit v rozsahu min. 1 mV až 1 V. Výstupní impedance je 600 Ω. Generovaný signál má malé nelineární zkreslení (menší než 0,2 %), přístroj můžeme použít i pro práci na jakostních nf zařízeních. Konstrukční řešení, snadná obsluha a optimalizované parametry jej předurčují pro zájmově technickou činnost, laboratoře a dílny škol a školských zařízení.

Vnější provedení je na obr. 4.

Obr. 4. Školní generátor RC BK 124 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

Kmitočtový rozsah: 10 Hz až 1 MHz v pěti dekadických rozsazích.
Chyba nastavení kmitočtu v rozsazích 10 Hz až 100 kHz:
 a) lepší než 15 %
 b) lepší než 4 Hz.
Součinitel nelineárního zkreslení v pásmu 100 Hz až 100 kHz: menší než 0,2 %.
Největší výstupní napětí (efektivní hodnota): min. 1 V/600 Ω.
Výstupy: x1; x0,1; x0,01.
Vnitřní odpor: asi 600 Ω.
Chyba zeslabovače: menší než 2 dB.
Regulace výstupního napětí plynule: 0 až -20 dB.
Doba náběhu: 10 minut.
Pracovní teplota okolí: +5 až +40 °C.
Napájecí napětí: 220 V ± 10 %.
Příkon: max. 10 VA.

Koncepce řešení

Tónový generátor patří v elektronice k nejčastěji používaným přístrojům. Požadujeme, aby generoval harmonický signál nastavitelné velikosti, s dostatečně malým nelineárním zkreslením v širokém rozsahu kmitočtů. Úkol, takový generátor vytvořit, vyřešili vynikajícím způsobem

Přes poměrnou jednoduchost zapojení se přístroj vyznačuje velmi dobrými statickými i dynamickými vlastnostmi a jejich stálostí ve specifikovaném rozsahu napájecích napětí a okolní teploty. Logická sonda má srovnatelné parametry s podobnými výrobky ze zahraničí i tuzemské produkce. Jen v ojedinělých případech (při měření na vstupních obvodech s velkou impedancí) je třeba uvážit vliv vstupního proudu sondy ve stavu $H(U_{vst} \approx 80 \mu A$ pro $U_{vst} = +2 V$).

Změna komparačních úrovní v závislosti na napájecím napětí a teplotě okolí

U_{cc} [V]	Komparační úroveň U_L [V]						Komparační úroveň U_H [V]					
	vzorek 1			vzorek 2			vzorek 1			vzorek 2		
	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C	7 °C	23 °C	38 °C
4,75	0,55	0,56	0,58	0,61	0,63	0,67	2,39	2,32	2,30	2,25	2,25	2,11
5,00	0,53	0,54	0,55	0,60	0,63	0,64	2,35	2,25	2,26	2,18	2,20	2,05
5,25	0,51	0,52	0,53	0,60	0,62	0,62	2,30	2,16	2,24	2,12	2,17	2,01

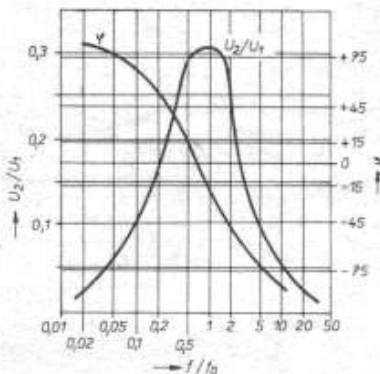
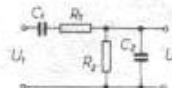
firma Hewlett-Packard již v roce 1939. Tónový generátor s Wienovým můstkem podle vlastní koncepce byl prvním přístrojem firmy, kterým začal její úspěšný rozvoj. Na nízkých kmitočtech zatím nelze vytvořit laděný obvod, přeladitelný v dostatečně širokém rozsahu kmitočtů. Proto autor zapojení (Ollivieri) použil pro ladění Wienův článek (obr. 5). Tento článek nepřenáší nejnižší kmitočty, brání tomu kondenzátor C_1 . Obdobně je přenos nulový pro vysoké kmitočty, které jsou zkracovány kondenzátorem C_2 . Přenos článku je kmitočtově závislý s maximem na kmitočtu $\omega = \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$. Obvykle se volí $R_1 = R_2 = R$ a $C_1 = C_2 = C$. Maximální přenos na kmitočtu $\omega = 1/RC$ je 0,33. Ollivieri použil k ladění článku v té době zcela běžné dvojité otočné kondenzátory. Při maximální kapacitě $C = 500$ pF lze přepínáním rezistorů od stovek ohmů do desítek MΩ přeladit článek v celém potřebném rozsahu kmitočtů od jednotek Hz do jednotek MHz. Wienův článek se snadno připojoval na vstup elektronového zesilovače, jehož vstupní odpor byl dostatečně velký a umožňoval proto ladění článku kondenzátorem. Wienův článek sám o sobě však určuje pouze kmitočet, na kterém má generátor kmitat. Dále je třeba určit amplitudu. Ta byla definována odporovým děličem, který Wienův článek doplňuje do můstku. Součinitel přenosu děliče závisí na amplitudě výstupního signálu. Jako součástku, jejíž odpor závisí na velikosti přivedeného signálu, použil Ollivieri žárovku. Tím bylo vytvořeno klasické zapojení generátoru RC s Wienovým můstkem a stabilizací amplitudy kmitů žárovkou. Přes velké množství dalších zapojení a variant generátorů, vytvořených v následujících letech, zůstává klasická koncepce technicko-ekonomickým optimem generátorů pro běžnou potřebu.

Nastavovací prvky

Nastavuje se pouze velikost komparační úrovně U_H volbou odporu rezistoru R_{13} . Komparační úroveň U_L nelze (není nutné) nastavovat. Je zajištěna velikostí úbytků napětí na D_1 až D_3 , na přechodu B-E T_1 a vlastnostmi převodní charakteristiky invertoru IO_{1-1} . Pro dosažení specifikované velikosti U_L (potřebných úbytků) je dioda D_1 germaniová, ostatní křemíkové.

však postupně stával stále méně dostupnou součástkou. Jeho cena a rozměry by pro školní generátor nebyly únosné. Proto je zvoleno ladění proměnným odporem. Vyhovující průběh stupnice vyžaduje použití potenciometry s logaritmickým průběhem. Nejlepší zaručovaný souběh je 2 dB, proto je u BK 124 specifikována chyba kmitočtu ±15 %. Výhodou ladění dvojitým potenciometrem je možnost volit součástky tak, že jsou menší požadavky na vstupní odpor zesilovače než při ladění dvojitým kondenzátorem (2×500 pF).

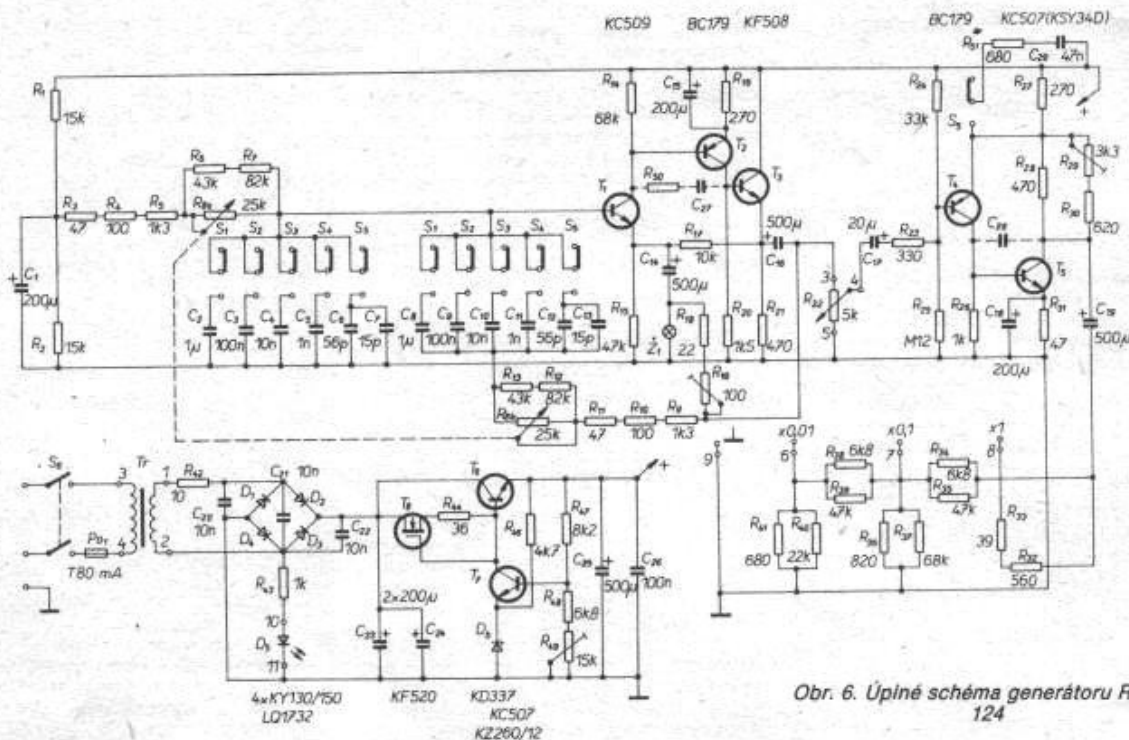
Zesilovač. Původně se v generátorech RC používal dvoustupňový zesilovač se dvěma elektronkami. Měl vyhovující zesílení, dostatečnou šířku pásma, velký vstupní odpor. Dělič s žárovkou se zapojoval do katodového obvodu. Z mnoha variant tranzistorových zesilovačů se pro kvalitní generátory s malým zkreslením osvědčilo zapojení se třemi stejnosměrně vázanými tranzistory, které je užito



Obr. 5. Zapojení a charakteristika Wienova článku

Popis zapojení

Wienův článek. Desítky let se Wienův článek generátoru ladil dvojitým otočným kondenzátorem. Vyhovujícího průběhu stupnice se snadno dosáhlo vhodným tvarem desek rotoru, byl zaručen souběh, malý rozptyl parametrů kondenzátoru. Kvalitní dvojitý otočný kondenzátor se



Obr. 6. Úplné schéma generátoru RC BK 124

I v BK 124 (T_1 , T_2 a T_3 na obr. 6). Zapojení je jednoduché, má silnou zápornou zpětnou vazbu stabilizující pracovní body přes R_{17} . Volba ss vazby a kombinace tranzistoru n-p-n a p-n-p optimálně využívá napájecího napětí. Ss vazba zjednodušuje zapojení, zlepšuje stabilizaci pracovních bodů a odstraňuje nežádoucí vazební členy RC. Zapojení děliče R_1 , R_2 , C_1 na zemní stranu Wienova článku umožňuje užít jeden napájecí zdroj, aniž by se zmenšil vstupní odpor zesilovače obvodu pro předpětí báze tranzistoru T_1 . Zesilovač tohoto provedení představuje optimum mezi šířkou pásma (umožňuje realizovat generátor do kmitočtu 1 MHz) a velikostí nelineárního zkreslení. Běžně lze dosáhnout na středních kmitočtech zkreslení řádu setin procenta.

Dále zmenšit nelineární zkreslení by již znamenalo omezit širokopásmovost a komplikovat zapojení. Kromě obvodu stabilizace amplitudy by bylo nutno změnit i zapojení zesilovače. Základní nevýhodou Wienova můstku při realizaci generátorů s velmi malým nelineárním zkreslením je totiž veškerá soufázová složka (třetina výstupního napětí) generovaného signálu. Pro generátory s velmi malým nelineárním zkreslením (pod 0,01 %) musí být použit zesilovač s velkým potlačením soufázové složky signálu. Pro nízké kmitočty lze takové zesilovače nalézt např. mezi operačními zesilovači. U nás běžně dostupné operační zesilovače však neumožňují vytvořit generátor pro kmitočty do 1 MHz. Proto byla dána přednost zapojení s T_1 , T_2 a T_3 v obr. 6. Podrobněji jsou z hlediska návrhu a vlastní návrh zapojení popsány v Amatérském rádiu č. 12/1972 a 1/1973 (v článku Horský, J.: Tónový generátor pro techniku Hi-Fi).

Stabilizace amplitudy kmitů. Také otázku stabilizace amplitudy kmitů lze řešit různými způsoby, od nejjednoduššího omezení amplitudy nelinearitou použitého zesilovače až po složité zpětnovazební

smyčky s operačními usměrňovači, zdroji referenčního napětí, zesilovači regulační odchylky a řízeného prvku tvořeného fotorezistorem, FET nebo analogovou násobičkou.

Nejprostší řešení s žárovkou bylo zvoleno pro jednoduchost, vyhovující stabilizační účinky, výhodné dosažitelné nelineární zkreslení (0,05 %), cenu a odolnost proti poškození. Univerzální generátor musí umožnit nastavit amplitudu kmitů v rozsahu alespoň 1 : 1000 (1 mV až 1 V). Toho lze dosáhnout pevným (-20 dB, -40 dB) a proměnným zesilovačem 0 až -20 dB. Mezi plynulý a skokový zesilovač je zařazen oddělovací zesilovač s přímovězanou dvojicí tranzistorů T_4 a T_5 , který odděluje zesilovače, upravuje úroveň signálu a potlačuje vliv zátěže na vlastnosti generátoru.

Splnění bezpečnostních požadavků. Primární obvod síťového transformátoru je chráněn tavnou pojistkou P_{01} . Obvody generátoru jsou spojeny s kostrou přístroje, proto nejsou kladeny zvláštní požadavky na transformátor. Jeho izolace mezi primárním a sekundárním vinutím je navržena tak, že vyhovuje zkušebnímu střídavému napětí 2 kV.

U malého transformátoru díky velkému vnitřnímu odporu (odporu vinutí) zkratky v sekundárním obvodu nepřesahují tavnou pojistku na primární straně. Proto se v takovém případě do obvodu zapojuje v sérii se sekundárním vinutím rezistor, který v případě zkratu přehoří nebo omezí zkratový proud tak, aby se transformátor nepřehřál a nepoškodil (připouští se oteplení oproti okolí o 135 °C). Ve zdroji generátoru BK 124 je jím R_{42} . Ochrana působí jak při poruchových stavech - zkratky usměrňovacích diod, vyhlazovacích kondenzátorů - tak i při zkratu za stabilizátorem. Pro takový případ je dostatečně výkonově dimenzován tranzistor T_6 .

Zajímavým prvkem ve zdroji je tranzistor FET (T_6). V běžných zapojeních je na této pozici připojen rezistor nebo dva rezistory, uprostřed blokován kondenzátorem proti společné svorce. V našem případě tvoří T_6 , R_{44} proudový zdroj, jehož přednosti jsou v tom, že

- zvětšuje zatěžovací odpor zesilovače odchylky stabilizátoru (tranzistoru T_7), čímž se zvětšuje zesílení a zlepšuje stabilizační účinek,
- velký vnitřní odpor proudového zdroje brání pronikání rušení a brumů do obvodu stabilizátoru. Výstupní napětí má proto velmi malé zvlnění a umožňuje dosáhnout velmi malého zkreslení nf signálu.

Nastavovací prvky

- R_3 , R_4 a R_{11} , R_{10} - jejich přemostěním se vymezuje kmitočet na horním konci rozsahu,
- R_6 , R_7 a R_{13} , R_{12} - přemostěním možno vymezit rozsah přeladění,
- R_{19} - nastavení zpětné vazby - optimalizace stabilizačních účinků (stabilizace amplitudy) a velikosti nelineárního zkreslení,
- R_{29} - nastavení max. výstupního napětí,
- R_{46} - nastavení napájecího napětí.

Vlastnosti generátoru

Technické údaje generátoru v instalační knížce ukazují zaručené údaje, které musí být v souladu s požadavkem GOST 22 261-82 splněny při výrobě alespoň s 20% rezervou. Typické vlastnosti, různé pro konkrétní výrobky, jsou lepší. Pro bližší poznání vlastností přístroje uvedeme některé změněné zajímavější závislosti pro určitý konkrétní generátor BK 124.

Vliv napájecího napětí sítě

Přístroj má stabilizovaný zdroj a je v širokém rozsahu necitlivý ke změnám napájecího napětí sítě.

U sítě [V]	160	180	198	220	242
U vyst. gen. [V]	1,28	1,28	1,28	1,28	1,28
f [kHz]	4,673	4,674	4,675	4,676	4,676
Nelin. zkr. [%]	2	0,48	0,064	0,064	0,064

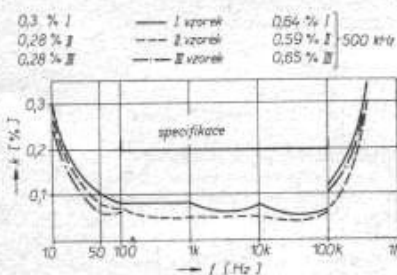
Ustálení generátoru po zapnutí

Specifikovaná doba náběhu je 10 minut. Vlastnosti signálu po zapnutí se však mění jen velmi málo, pouze se nepatrně zmenšuje nelineární zkreslení.

Doba provozu [minut]	$U_{\text{vým}} [V]$	$f [kHz]$	Zkreslení [%]
1	1,22	0,980	0,089
3	1,25	0,980	0,088
5	1,24	0,980	0,087
10	1,24	0,980	0,085
60	1,24	0,980	0,082

Kmitočtová závislost výstupního napětí

Výstupní napětí při přeladění v rámci rozsahu kolísá v rozmezí několika %, na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se nastavuje změnou zpětné vazby oddělovacího stupně T_4 , T_5 . Nelineární zkreslení závisí na nastavení zpětné vazby trimrem R_{15} . Příklady změřených závislostí pro tři vzorky generátoru jsou na obr. 7.



Obr. 7. Příklad závislosti nelineárního zkreslení na nastaveném kmitočtu pro vzorky BK 124 ukazuje prakticky shodné vlastnosti na nízkých a na vysokých kmitočtech a velkou rezervu ve specifikované oblasti

Nelineární zkreslení na nejnižším kmitočtu 10 Hz je asi 0,3 %. Je určeno vlastnostmi žárovky Z_1 . Se zvyšujícím se kmitočtem se rychle snižuje a pro kmitočty 50 Hz je již menší než 0,1 %. V oblasti kmitočtů 100 Hz až 100 kHz je mezi 0,04 až 0,09 % (to je čtvrtina až polovina ze specifikované velikosti 0,2 %). Na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se znovu zvětšuje vlivem vlastností použitých zesilovačů. Pro 100 kHz je kolem 0,1 %, pro 500 kHz kolem 0,6 %. Výstupní odpor generátoru je 600 Ω . Na nejvyšších kmitočtech se zmenšuje o méně než 20 %. Chyba zesilovače, specifikovaná 2 dB, bývá ve skutečnosti menší než 0,5 dB. Plynulé zesílení (20 dB) lze nastavit s rezervou, regulace pracuje asi do 30 dB.

Stabilita kmitočtu je specifikována $\pm 2 \cdot 10^{-3}/10$ minut. Naměřené vlastnosti v referenčních podmínkách ($U_0 = 220$ V, $t_0 = 23$ °C, při U_{max} na zátěži 600 Ω) byly za 60 minut (měřeno po 10 minutách) na rozsahu: do 100 Hz $+3 \cdot 10^{-4}$, do 1 kHz $2 \cdot 10 \cdot 10^{-4}$, do 10 kHz $10 \cdot 10^{-4}$, do 100 kHz $3 \cdot 10^{-4}$ a do 1 MHz $4 \cdot 10^{-4}$.

Snižováním teploty okolí na 5 °C nebo zvýšením na 43 °C se změnilo výstupní napětí i nelineární zkreslení zanedbatelně. Změna kmitočtu je menší než opakovaně nastavení (chyba čtení stupnice). Na rozsahu 100 kHz až 1 MHz se zvýšil kmitočť asi o 1 % při snížení teploty z 23 na 5 °C.

Uvedené vlastnosti dokazují, že generátor má optimální vlastnosti pro běžné používání při jednoduchém a osvědčeném obvodovém řešení, z něhož by měla plynout i velká spolehlivost přístroje.

Školní stabilizované zdroje BK 125 (126)

Jsou univerzální zdroje pevných napětí $+5$ V a symetrických napětí ± 15 V (12 V). Přístroje jsou určeny především k napájení zařízení s operačními zesilovači a číslicovými obvody. Trvale je možno odebírat proudy 1 A z výstupu $+5$ V a 0,3 A (0,4 A) z výstupů ± 15 V (12 V), špičkové proudy minimálně o 25 % větší. Zdroje jsou vybaveny indikací přetížení, tj. překročení jmenovitého maximálního povoleného odběru jednotlivých zdrojů, nebo zmenšení výstupního napětí při vypnutí elektronické pojistky.

Oba typy přístrojů mají shodné konstrukční i obvodové řešení, liší se jen velikostí symetrických napětí a povoleným odebíraným proudem. Stabilizované zdroje BK 125 a BK 126 splňují požadavky na zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560. Vnější vzhled můžeme posoudit z obr. 8.

Obr. 8. Školní stabilizované zdroje BK 125 a BK 126 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

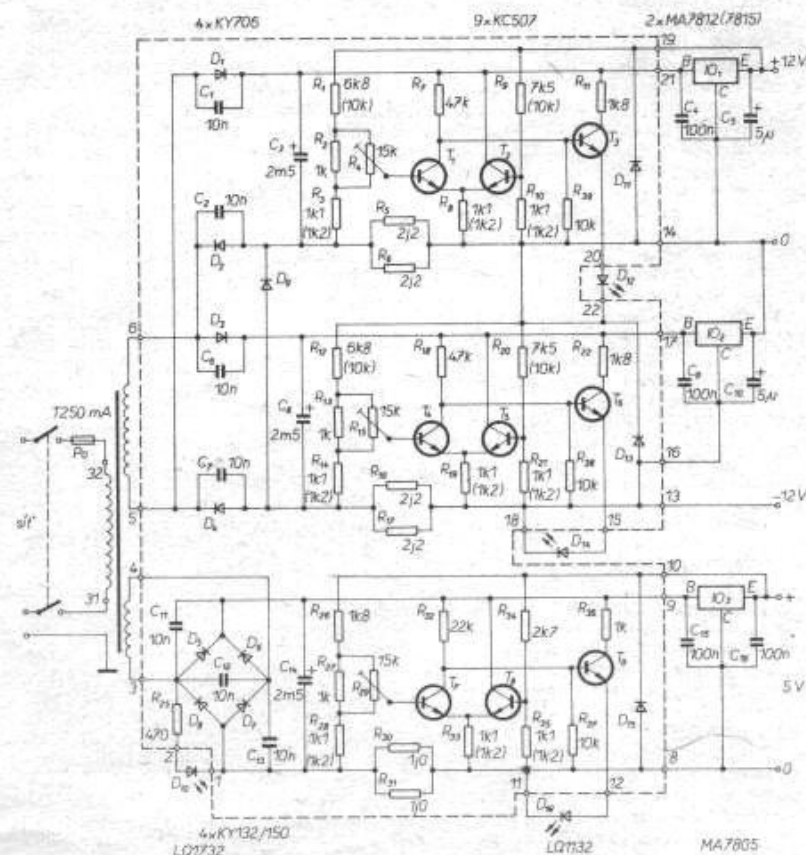
	BK 125	BK 126
Výstupní napětí I:	$+5$ V ± 5 %	
Maximální výstupní proud:	1 A	
Omezení proudu elektronickou pojistkou:		asi 2 A
Stabilita výstupního napětí se změnou sítě ± 10 %:	lepší než $3 \cdot 10^{-3}$	
Zvlnění (mezivrcholová velikost):	menší než 10 mV	
Indikace přetížení při odběru:	větší než 1 A	
Výstupní napětí II:	± 15 V, ± 12 V	
Maximální výstupní proud:	0,3 A, 0,4 A	

Omezení výstupního proudu elektronickou pojistkou:
Stabilita výstupního napětí se změnou sítě ± 10 %:
Zvlnění (mezivrcholová velikost):
Indikace přetížení při odběru větším než:
Pracovní teplota okolí:
Napájecí napětí:
Příkon:

asi 2 A,
lepší než $3 \cdot 10^{-3}$,
menší než 10 mV,
0,3 A, 0,4 A,
 $+5$ °C až $+40$ °C,
220 V ± 10 %,
max. 60 VA.

Koncepce řešení

vychází z uvážení potřeb uživatelů. Podobně jako tomu bylo při vývoji elektronik, kdy se sjednocoval rozsah anodových a žhavicích napětí, sledujeme dnes trend sjednocování napájecích napětí u obvodů s aktivními polovodičovými prvky. U lineárních integrovaných obvodů převládá napájecí napětí ± 15 V, u obvodů číslicové techniky převážně $+5$ V, ± 12 V, (příp. -5 V). Často se vyskytne případ, že potřebujeme současně napětí $+5$ V (pro TTL obvody) i ± 15 V nebo ± 12 V pro diskrétní prvky (operační zesilovače, převodníky...). Jde-li o nenáročná zařízení a experimentální zapijení, je nevhodné používat nepřiměřeně drahé, složité, pro obsluhu málo přehledné kombinované napájecí zdroje proměnných napětí s možností odběru proudů jednotek ampérů. Ani „skládat“ několik jednoduchých zdrojů (např. typu BK 127) není nejvhodnějším řešením, jak z hlediska ekonomického, tak uživatelského – uvažme např. požadavek současně zapnout tři napájecí zdroje. (Postupné zapínání může mít někdy nepříznivý vliv na napájené obvody.) V těchto případech plně vyhoví malý jednoduchý napájecí zdroj, který má několik pevných výstupních napětí.



Obr. 9. Úplné schéma stabilizovaných zdrojů BK 125 a BK 126

Na vlastnosti takového zdroje nemáme příliš velké nároky. Požadujeme výstupní napětí v toleranci do 5 %, proudy v rozsahu stovky mA až jeden A, indikaci provozního a mimoprovozního stavu. Velké nároky máme ovšem na splnění požadavků bezpečnosti.

Výsledkem řešení zdrojů této koncepce jsou přístroje BK 125 a BK 126. Vyznačují se jednoduchým zapojením, použitím monolitických integrovaných stabilizátorů, malými rozměry a relativně nízkými pořizovacími náklady. Výstup +5 V s povoleným odběrem do 1 A vyhoví pro napájení několika desítek pouzder integrovaných obvodů TTL, pro běžné aplikace plně vyhoví max. povolený proud 0,3 A větvi ±15 V u BK 125 a 0,4 A výstupů ±12 V u BK 126.

Popis zapojení

Celkové schéma přístroje je na obr. 9. Každá ze tří větví obsahuje monolitický integrovaný stabilizátor a obvod indikace překročení povoleného proudu. Obě větve zdroje symetrického napětí jsou napájeny z jediného vinutí síťového transformátoru. Usměrňovače s diodami D_1 , D_2 a D_3 , D_4 oddělují galvanicky vstupní obvody obou větví, avšak usměrňují střídavá napětí jednocestně. K potlačení rušení velkými proudovými impulsy jsou diody přemostěny kondenzátory.

Větev zdroje 5 V je napájena ze samostatného vinutí transformátoru. Kondenzátory C_{11} až C_{13} omezují rušení vznikající v můstkovém usměrňovači D_5 až D_6 .

Funkce obvodu indikace překročení max. proudu (příklad pro zdroj +5 V): při povoleném odběru vytváří proud na rezistorech R_{30} a R_{31} malý úbytek napětí, tranzistor T_7 (v rozdílovém zesilovači) je otevřený, T_8 zavřený. Tranzistor T_9 proto nevede, dioda D_{16} nesvítilí. Zvětšili-li se odebraný proud, nastane stav, kdy vlivem úbytku napětí na R_{30} , R_{31} se zmenší napětí báze tranzistoru T_7 pod úroveň napětí báze tranzistoru T_8 . Tranzistor T_7 se uzavře, proudem protékajícím přes rezistor R_{32} do báze je tranzistor T_9 otevřen a dioda D_{16} se rozsvítí.

Zvětšením proudu protékajícího přes snímací rezistory R_{30} , R_{31} o proud svítivou diodou je dosaženo mírné hystereze obvodu. Přes rezistor R_{32} je tranzistor T_9 otevřen i tehdy, vypne-li elektronická pojistka integrovaného obvodu IO_3 a zmenší-li se výstupní napětí. Rozdílové zapojení tranzistorů T_7 a T_8 zajišťuje dobré teplotní vlastnosti obvodu. Integrovaný stabilizátor IO_3 má na svorky připojeny výrobcem doporučené kondenzátory C_{15} , C_{16} . Dioda D_{15} jej chrání proti poškození proudem vnuteným do výstupních svorek. Činnost obvodů v ostatních větvích je shodná.

Splnění bezpečnostních požadavků

Síťový transformátor je navržen s izolací vyhovující střídavému zkušebnímu napětí 4 kV mezi primárním a sekundárním vinutím a napětí 2 kV všech vinutí proti jádru. Vůči kostře přístroje musí takovému napětí vyhovět obvody všech zdrojů, tedy včetně izolace integrovaných obvodů od chladičů, řešené zvláštní konstrukcí. Při poruchových stavech (zkraty na usměrňovacích diodách a vyhlazovacích kondenzátorech) se vždy buď přeruší tavná pojistka v primárním obvodu, nebo je

proud sekundárním obvodem tak malý, že se transformátor nadměrně neotepluje. Zvláštní funkci má dioda D_9 . Bez ní by při zkratu diody D_4 proud protékající přes R_{16} , R_{17} ; D_{13} ; R_5 , R_6 ; D_2 způsobil přehřátí transformátoru, aniž by se přerušila pojistka Po. V zapojení s diodou však bude proud protékat jen přes D_9 a D_2 , jeho velikost proto postačuje k přerušení pojistky v primárním obvodu.

Vypinací proudy elektronické pojistky integrovaných obvodů řady MA7800 jsou větší než jmenovité max. hodnoty povoleného odběru proudu z výstupů přístroje a proto je možné odebírat ve špičkách i větší proud než je specifikováno.

Obvody zdrojů symetrického napětí, které jsou napájeny ze společného vinutí transformátoru, můžeme při malém odběru z jedné větve zatížit v druhé větvi i větším proudem, než je povoleno, bude-li splněno, že:

- součet proudů obou zdrojů nebude větší než součet proudů specifikovaných,
- v „zatíženější“ větvi se nesmí ještě zvětšovat zvinění, které svědčí o nedostatečném napětí na vstupu stabilizátoru (kontrolujeme osciloskopem). Záleží na skutečné velikosti napětí sítě.

Nastavovací prvky

Odporové trimry R_4 , R_{15} , R_{26} slouží k nastavení prahu indikace překročení příslušného max. povoleného proudu. Jiné prvky se nenastavují.

Vlastnosti zdrojů BK 125, BK 126

Parametry, uvedené v technických údajích, charakterizují pouze základní vlastnosti přístrojů. Musí být při výrobě splněny,

ny, v souladu s GOST 22261-80, nejméně s 20% rezervou. Skutečné parametry jsou lepší. Příklady některých konkrétně dosahovaných vlastností si ukážeme dále.

Stabilizační vlastnosti

Zdroj obvykle provozujeme při napájení síťovým napětím v místnosti, kde teplota kolísá maximálně asi od 18 do 28 °C. Jak se zdroj BK 125 a BK 126 chová v širším rozmezí napájecího napětí a teploty, je zřejmé z tabulky.

Z tabulky plyne, jak značná rezerva je ve specifikaci přístroje. Specifikace zaručuje parametry pro síťové napětí 220 V ±10 %. Dále je zřejmé, že při zvětšení napájecího napětí o 20 % se parametry prakticky nemění. Zmenšení napětí sítě o 10 % se neprojevuje, 20 % se projeví pouze zvětšením zvinění. Zvinění a sum výstupního napětí je o řád menší, než je specifikováno (spec. 10 mV). Teplotní závislost výstupního napětí je malá. V tabulce se můžeme přesvědčit, že všechny větve stabilizátorů nemají větší teplotní závislost než -0,02 %/°C.

Velikost vnitřního odporu je specifikována jako menší než 200 mΩ. U všech větví zdrojů je skutečná velikost v celém rozmezí teplot menší než 50 mΩ. Změnou zátěže z nuly na maximálně povolený proud zdroje vyrovná během několika desítek mikrosekund se zámky několik stovek milivoltů.

Stabilita výstupního napětí se změnou napětí sítě ±10 % je definována menší než $3 \cdot 10^{-3}$. Ve všech větvích zdroje je změřená stabilita lepší než $1 \cdot 10^{-3}$ (0,15 $\cdot 10^{-3}$ až 0,8 $\cdot 10^{-3}$). Casová stabilita je lepší než $1 \cdot 10^{-3}$ za hodinu (specifikace 5 $\cdot 10^{-3}$ za hodinu).

$U_{\text{st}} [V]$	[°C]	160	180	200	220	242	Poznámka	
+5 V $U_{\text{výst}} [V]$	23	4,324	4,869	4,956	4,956	4,955	BK 125 zdroj +5 V $I = 1 \text{ A}$	
	5	4,548	4,960	4,966	4,966	4,966		
	45	4,486	4,944	4,949	4,949	4,949		
	Zvinění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 200	400	1	1		1
		5	1 400	600	1	1		1
		45	1 100	180	1	1		1
+15 V $U_{\text{výst}} [V]$	23	13,822	15,044	15,044	15,044	15,044	zdroj +15 V $I = 0,3 \text{ A}$	
	5	14,222	15,070	15,071	15,072	15,072		
	45	14,466	15,024	15,014	15,014	15,014		
	Zvinění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 400	1	1	1		1
		5	1 600	1	1	1		1
		45	1 300	1	1	1		1
-15 V $U_{\text{výst}} [V]$	23	14,012	-15,302	-15,303	-15,303	-15,306	zdroj -15 V $I = 0,3 \text{ A}$	
	5	14,431	-15,341	-15,344	-15,344	-15,344		
	45	14,339	-15,326	-15,326	-15,326	-15,328		
	Zvinění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	1 600	4	1	1		1
		5	1 600	1	1	1		1
		45	1 500	2	1	1		1
+12 V $U_{\text{výst}} [V]$	23	12,110	12,285	12,279	12,271	12,266	BK 126 zdroj +12 V $I = 0,3 \text{ A}$	
	5	12,091	13,310	12,304	12,304	12,304		
	45	12,166	12,249	12,245	12,245	12,247		
	Zvinění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	800	2	1	1		1
		5	500	1	1	1		1
		45	500	1	1	1		1
-12 V $U_{\text{výst}} [V]$	23	-11,963	-12,103	-12,099	-12,091	-12,082	zdroj -12 V $I = 0,3 \text{ A}$	
	5	-12,082	-12,157	-12,154	-12,150	-12,142		
	45	-11,975	-12,102	-12,094	-12,088	-12,079		
	Zvinění $U_{\text{mv}} [mV]$	23	600	2	1	1		1
		5	400	1	1	1		1
		45	600	2	1	1		1

Školní stabilizovaný zdroj BK 127

je všestranně použitelný stabilizovaný zdroj napětí nastavitelného v rozsahu 0 až 20 V s možností odběru proudu do 1 A. Plynule nastavitelná ochrana proti přetížení omezuje výstupní proud na předem nastavenou velikost. Nastavené napětí nebo odebíraný proud je možno přečíst na vestavěném měřidle. Přístroj se vyznačuje jednoduchou obsluhou – na čelním panelu jsou pouze následující ovládací prvky – síťový spínač, potenciometr pro nastavení výstupního napětí, potenciometr k nastavení max. výstupního proudu a přepínač funkcí měřidla „proud – napětí“. Ke snadné obsluze přispívá i přehledné a dostatečně jemné členění stupnice měřidla. Stabilizovaný zdroj BK 127 splňuje požadavky na zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560. Vzhled přístroje můžeme posoudit z obr. 10.

Obr. 10. Školní stabilizovaný zdroj BK 127 (na 4. straně obálky)

Základní technické údaje

Výstupní napětí: 0 až 20 V.

Výstupní proud: 0 až 1 A.

Omezení výstupního proudu elektronickou pojistkou: nastavitelné, 100 mA až 1 A, funkce pojistky indikována svítivou diodou.

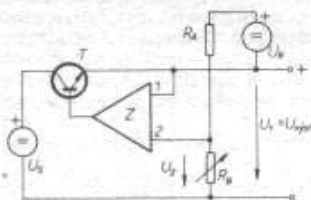
Stabilita výstupního napětí

- se změnou sítě $\pm 10\%$: lepší než $\pm 0,15\%$,
- se změnou výstupního proudu z 0 na 1 A: lepší než $\pm 0,15\% + 20\text{ mV}$,
- se změnou teploty: lepší než $\pm 0,25\%/^{\circ}\text{C}$.

Stability jsou definovány po 30 minutách provozu, přístroj však může být použit ihned po zapnutí.

Zvlnění a šum: menší než 10 mV v pásmu 10 Hz až 10 MHz.

Max. napětí výstupních svorek proti kótfé: 42 V.



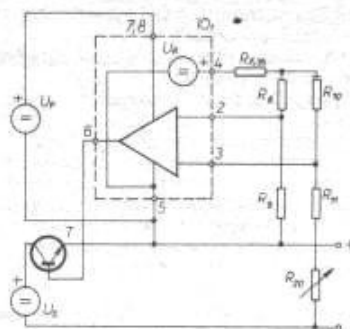
Obr. 11. Princip činnosti stabilizátoru napětí použitého ve stabilizovaném zdroji BK 127

Chyba měření napětí a proudu: lepší než $\pm 3\%$ z plné výchylky ručky měřidla.
Pracovní teplota okolí: $+5$ až $+40^{\circ}\text{C}$.
Napájecí napětí: $220\text{ V} \pm 10\%$.
Příkon: max. 60 VA.
Rozměry, hmotnost: $175 \times 90 \times 190$; asi 3 kg.

Poznámka: Při výstupních napětích do 8 V a zejména při práci s teplotami okolí blízkými povolené horní mezi (40°C) se doporučuje nevyužívat max. odběr 1 A, ale redukovat jej o 50%. Kritériem k omezení je provozní teplota přístroje. Pokud teplota chladiče na zadním panelu přístroje nebude vyšší než 65°C (zjednodušený test – na chladiči lze ještě udržet dlaň) a zajistíme-li účinné ochlazování nebo není-li zátěž trvalá, nemusíme omezení respektovat.

Koncepce řešení

Univerzální regulovatelný zdroj patří bezesporu mezi nejpoužívanější přístroje laboratoří a dílen. Při jeho návrhu musíme vycházet z předpokládaného použití a podle toho optimalizovat parametry přístroje, obvodové i konstrukční řešení. S nástupem polovodičových prvků se u řady obvodů a zařízení s jedním napájecím napětím ustálila jeho velikost převážně v rozmezí 1,2 až 15 V. Např. napájecí napětí 1,2 V se používá v digitálních hodinách, až 4,5 V v kapacitních kalkuláto-



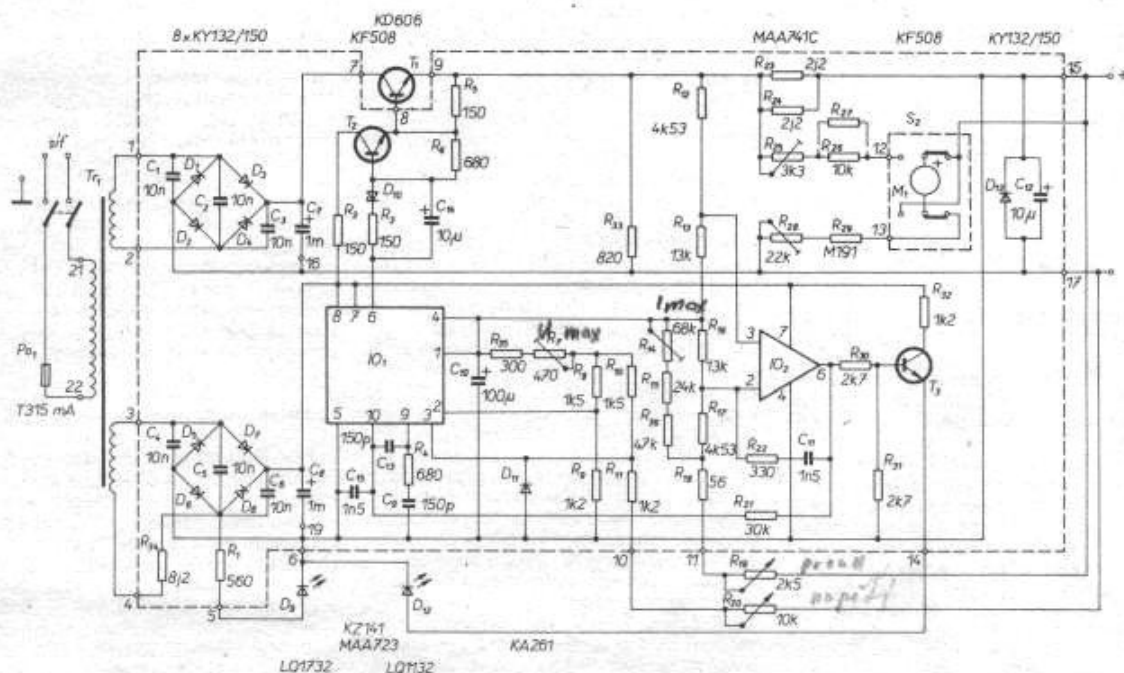
Obr. 12. Zjednodušené zapojení stabilizátoru zdroje BK 127

rech, do 12 V bývá napájení přenosných přijímačů, magnetofonů, případně televizních přijímačů. Napětí 15 V se používá v zařízeních napájených ze sítě s kombinací diskretních a integrovaných polovodičových prvků. Ve stejném rozsahu proto leží i požadavky na napájení nejrůznějších experimentálních zapojení.

Pro převážnou část potřeb vyhoví zdroj, který pokryje uvedené rozsahy napětí a umožní odběr proudu až do velikosti 1 A. Při použití ve školách a zájmových organizacích musíme v první řadě přihlídnout k otázce bezpečnosti přístroje. Je-li výrobek určen pro práci s mládeží (a nejen s mládeží!), měl bychom zásadně používat průmyslové výrobky se zaručenou bezpečností a navíc je podrobovat i periodickým kontrolám.

Z výše uvedených důvodů a s ohledem na zvláštnosti výchovného procesu jsme stanovili následující požadavky:

- zdroj bezpečného napětí podle ČSN 35 1560,
- výstupní napětí menší než 24 V, (větší napětí pro práci s dětmi nepovažujeme za vhodné),
- plynulá regulace výstupního napětí od nuly,
- plynule nastavitelná elektronická pojistka typu „proudové omezení“ s indikační funkcí,



Obr. 13. Úplné schéma stabilizovaného zdroje BK 127

- možnost snadno měřit výstupní napětí a odebíraný proud,
- jednoduchá obsluha, zvláštní důraz na ergonomii a estetiku,
- optimalizace provedení, parametrů a ceny.

Zvolený rozsah výstupního napětí 0 až 20 V má výhodu v tom, že pokryje většinu běžných potřeb a navíc lze dostatečně přesně číst výstupní napětí na stupnici měřidla, pro regulaci vyhovuje vrstvý potenciometr a není proto nutné používat drahý speciální potenciometr nebo z hlediska obsluhy nepohodlnou kombinaci přepínač + potenciometr (nastavení hrubě a jemně).

Zdroj má minimum ovládacích prvků (obr. 10):

- potenciometry k nastavení výstupního napětí,
 - potenciometry k nastavení omezení výstupního proudu,
 - tlačítko přepínače funkce měřidla „proud – napětí“,
 - tlačítko síťového spínače.
- Indikační prvky jsou:
- měřidlo,
 - signálka indikující proudové omezení,
 - signálka indikující provozní stav zdroje.

Popis zdroje

Princip obvodu stabilizátoru napětí je zřejmý z obr. 11. Zapojení se skládá ze zdroje referenčního napětí U_R , děliče R_A , R_B ; zesilovače odchylky Z a regulačního členu (tranzistoru T). Na vstup obvodu je přiváděno z napáječe nestabilizované napětí U_B . Stabilizátor udržuje konstantní velikost výstupního napětí U_{vyst} , nastaveného potenciometrem R_B . Regulační smyčka pracuje tak, že je zápornou zpětnou vazbou neustále udržováno nulové rozdílové napětí na vstupech 1, 2 zesilovače odchylky, tzn. nastat platit

$$U_2 - U_1 = 0$$

Vyjádříme U_2 jako napětí na děliči R_A , R_B

$$U_2 = \frac{R_B}{R_A + R_B} (U_R + U_{vyst}).$$

Z obr. 11 vidíme, že platí

$$U_1 = U_{vyst}.$$

Dosazením druhého a třetího vztahu do výchozí rovnice dostaneme

$$\frac{R_B}{R_A + R_B} (U_R + U_{vyst}) - U_{vyst} = 0$$

a po úpravě $U_{vyst} = \frac{R_B}{R_A} U_R.$

Z výsledku vyplývá, že výstupní napětí je přímo úměrné velikosti odporu potenciometru R_B . Tzn., že lineárním potenciometrem budeme lineárně (rovnoměrně) měnit výstupní napětí. Velikostí R_A můžeme nastavovat maximální výstupní napětí zdroje.

Jako zesilovač odchylky i zdroj referenčního napětí je použit integrovaný obvod MAA723. Zjednodušené schéma je na obr. 12. IO_1 je napájen z pomocného zdroje napětí U_p . Protože vstupy zesilovače IO_1 , nemohou být připojeny přímo na potenciál kladné výstupní svorky (tj. vzhledem k jeho napájecímu napětí U_p na nulový potenciál), jsou použity dva shod-

né děliče R_6 , R_9 a R_{10} , R_{11} . Tím je zaručeno, že napětí na vstupech 2, 3 integrovaného obvodu IO_1 jsou vůči vývodu 5 větší než minimálně potřebné 2 V. Označení prvků odpovídá celkovému schématu – viz obr. 13.

Zdrojem U_p je můstkový usměrňovač D_1 až D_4 , připojený k vinutí 1–2 transformátoru Tr_1 . Kondenzátory C_1 až C_3 potlačují rušení vznikající na usměrňovacích diodách. Zdrojem U_B je stejné zapojení – usměrňovač D_5 až D_8 připojený k vinutí 3–4 síťového transformátoru.

Za pozornost stojí splnění bezpečnostních parametrů. Vysoké nároky jsou kladeny na samotný transformátor. Izolace mezi primárním a sekundárním vinutím musí vyhovět střídavému zkušebnímu napětí 4 kV, všechna vinutí proti jádru napětí 2 kV. Při poruchových stavech v obvodu usměrňovače D_1 až D_4 (zkrat jedné z diod, zkrat C_1) se zvětší proud sekundárním a tím i primárním vinutím natolik, že se přeruší tavná pojistka PO_1 . Jinak je tomu u usměrňovače D_5 až D_8 . Vinutí 3–4 je dimenzováno na podstatně menší odběr proudu než vinutí 1–2, je navinuto tenčím vodičem, má větší vnitřní odpor. Při poruchovém stavu se proto dostatečně nezvětší primární proud a PO_1 se nepřeruší. (Volit pojistku pro menší jmenovitý proud nelze, neboť by se přerušila při plném povoleném zatížení zdroje.) Proto je do obvodu zařazen rezistor R_{24} . Za běžného provozu je na něm malý úbytek napětí, rozptýlený výkon leží pod max. povolenou velikostí 125 mW (jde o typ TR 212).

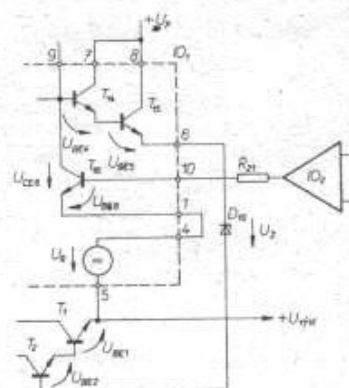
Při poruchovém stavu se proud rezistorem zvětší, povolené zatížení je podstatně překročeno a proto se rezistor přeruší – přehoří. Tím je naplněna funkce ochrany – nepoškodí se další (podstatně hodnotnější) prvky a obvody, v tomto případě síťový transformátor.

Protože výrobce ovládacích potenciometrů nezaručuje požadovanou elektrickou pevnost 2 kV, musí být tyto prvky uchyceny izolovaně od kostry přístroje. Podobně připevnění regulačního tranzistoru T_1 k chladiči musí splnit protichůdné požadavky – schopnost rozptýlit velký ztrátový výkon a přitom tranzistor musí být uchycen k chladiči s izolací vyhovující zkoušce napětím 2 kV. Toho je dosaženo použitím speciálních konstrukčních prvků a izolačních hmot.

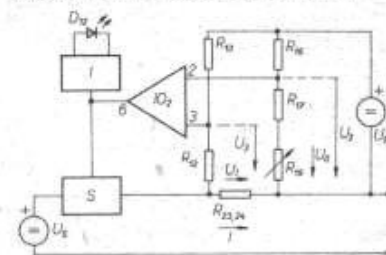
Výkonový tranzistor není řízen přímo z IO_1 , ale pomocí tranzistoru T_2 . Zapojení zmenšuje nebezpečí poškození T_1 i IO_1 a současně zlepšuje tepelné poměry IO_1 (menší ztrátový výkon). Zjednodušené zapojení obvodu proudového omezení je na obr. 14. Principem činnosti je porovnávání napětí U_1 , vzniklého průtokem výstupního proudu I přes R_{23} , R_{24} , s nastavitelným napětím U_0 . Pokud bude U_1 menší než U_0 , bude i vstupní napětí U_3 obvodu IO_2 menší než vstupní napětí U_2 , a proto bude na výstupu IO_2 malé napětí. Obvody stabilizátoru S pracují v běžných pracovních podmínkách, svítivá dioda D_{12} indikačního obvodu nesvítlí.

V okamžiku, kdy se výstupní proud zvětší tak, že U_1 bude větší než U_0 , tedy U_3 větší než U_2 , zvětší se i výstupní napětí IO_2 , stabilizátor přejde do režimu proudového omezení, dioda D_{12} se rozsvítí. Výstupní napětí zdroje se zmenší tak, aby obvodem protékal proud, který způsobí, že napětí na obou vstupech IO_2 budou shodná.

Funkci obvodu stabilizátoru v režimu proudového omezení vysvětlíme na obr. 15. Zvětší-li se napětí na výstupu IO_2 nad velikost $U_R + U_{BE4}$, tranzistor T_4 se otevře a napětí na vývodu 9 se zmenšuje. Stejně se zmenšuje i napětí U_6 na výstupu 6 obvodu IO_1 (je menší o $U_{BE4} + U_{BE5}$ než na vývodu 9). Protože se však nemůže zmen-



Obr. 14. Zjednodušené zapojení obvodu proudového omezení zdroje BK 127



Obr. 15. Zapojení obvodů proudového omezení a integrovaného obvodu MAA723 ve stabilizovaném zdroji BK 127

šit na méně než $U_{min} = U_R + U_{CE5} - U_{BE4} - U_{BE5}$, tj. $U_{min} = 7 + 0,3 - 0,65 - 0,65 = 6$ V, je do obvodu zařazena Zenerova dioda D_{10} . Zmenší-li se napětí U_6 pod velikost $U_2 + U_{BE1} + U_{BE2}$, přestává téci proud do báze T_2 ; T_2 i T_1 se uzavírají.

Nastavovací prvky – trimr R_{25} a rezistor R_{27} – jsou určeny pro nastavení proudového a R_{25} napětíového rozsahu měřidla. Trimrem R_7 se nastavuje maximální výstupní napětí a R_{14} , R_{15} , R_{36} maximální výstupní proud stabilizovaného zdroje. Odpor R_{18} vymezuje minimální nastavitelný proud elektrické pojistky. Pokud jej vyřadíme nebo zmenšíme, dosáhneme toho, že levý doraz potenciometru bude odpovídat nulovému povolenému výstupnímu proudu. To sice znamená napoprvé poněkud překvapující stav – zdroj může mít ve funkci elektronickou pojistku, aniž by k němu byla připojena zátěž. Výstupní napětí je přitom nulové bez ohledu na polohu potenciometru „nastavení napětí“. Stav je však bezpečně indikován svítlivou diodou D_{12} , takže je obsluha upozorněna, že má mírně pootočit potenciometrem „nastavení proudu“. Výhodou této úpravy je možnost nastavovat i malé velikosti proudového omezení, např. desítky mA. A také možnost „vypínat a zapínat“ výstupní napětí vždy s náběhem na původně nastavenou velikost prostým pootočením potenciometru „nastavení proudu“.

Příklad změřených parametrů BK 127

Tak, jako u ostatních přístrojů, uvedeme některé zajímavější údaje, změřené na jednom kusu BK 127. Omezení výstupního proudu (specifikací 100 mA až 1 A) bylo možno nastavit od 25 mA do 1,19 A. Časová stabilita výstupního napětí po dvaceti minutách po zapnutí byla $2 \cdot 10^{-3}/20$ minut pro 5 V/1 A. Stabilita výstupního napětí při změnách napětí sítě ± 10 % je při max. proudu 1 A a napětí 5 a 20 V 4 až $6 \cdot 10^{-4}$. Nestabilita při změně proudu z nuly na 1 A při napětí 20 V, 5 V a 1 V je 10 až 20 mV. Zvlnění a šum výstupního napětí je 6 mV.