

# BRANNĚ TECHNICKÁ ČINNOST

## Elektronický pohon motorku SMR 300

Ing. Jan Jágr

Oceněná řešení  
tematických úkolů  
ÚV Svazarmu

### 1. ÚVOD

Pro pohon hifi gramofonů se ideálně hodí krokový synchronní motor SMR 300 Novoborských strojů. Volba otáček gramofonového talíře se dosud provádí převážně mechanicky, protože není k dispozici vyhovující elektronický generátor dvou kmitočtů s výstupním napětím 220 V. Nevýhodou většiny publikovaných měničů kmitočtu je jejich nízkonapěťový výstup, který vyžaduje speciální nízkonapěťový motorek. Nutný je také napájecí transformátor, který zvětšuje hmotnost gramofonu a svým rozptylovým polem zhoršuje odstup cizích napětí /u gramofonů s magnetickou přenoskou/. Jediné u nás zveřejněné zapojení měniče pro gramofonový motorek s výstupem 220 V /Amatérské radio č. 10/1974/ obsahuje dvě rozměrné tlumivky, jejichž rozptylové pole nebude menší než u transformátoru.

Cílem tematického úkolu bylo navrhnout a ověřit měnič kmitočtu k motoru SMR 300/220 V, 1,5 VA pro dva kmitočty odpovídající jmenovitým otáčkám gramofonového talíře 33,33 a 45,11 za minutu. Podle zadání nesměl generátor obsahovat součásti s magnetickým rozptylovým polem, použité součástky měly být tuzemské výroby.

### 2. Princip zapojení

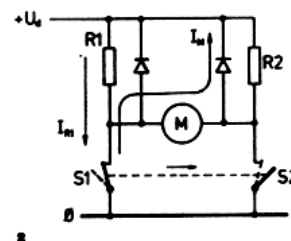
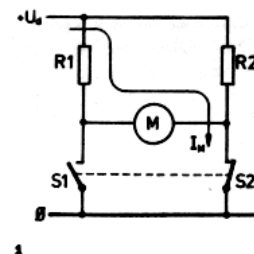
Motorek SMR 300 nemusí být nutně napájen sinusovým napětím. Na popsaném zapojení jsem ověřil, že v rozsahu kmitočtů 30 až 60 Hz pracuje dobře a s dostatečným momentem i při napájecím napětí obdélníkovém. Velmi malý příkon motorku /1,5 VA/ umožňuje realizovat střídavý můstek pouze se dvěma protitaktně řízenými spínači S1, S2 a dvěma odpory R1, R2 na obr. 1.

Usměrněním síťového napětí 220 V získáme s ohledem na nutný ochranný odpor a zvlnění na ekonomicky navrženém filtračním kondenzátoru hodnotu napětí  $U_d \approx 285$  V. Jestliže proud motorkem vychází z příkonu

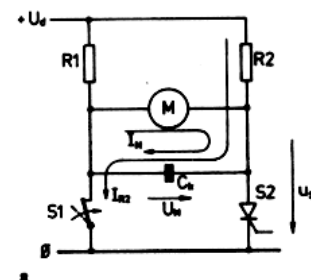
$$I_M = \frac{1,5 \text{ VA}}{220 \text{ V}} = 6,8 \text{ mA},$$

pak při obdélníkovém napětí 220 V na svorkách motorku musí mít odpory R1 a R2 hodnotu

$$R1 = R2 = \frac{U_d - U_M}{I_M} = \frac{285 - 220}{6,8} \approx 10 \text{ k}\Omega.$$



Tyristor je spínací prvek, charakterizovaný kromě jiného vypínací dobou  $t_v$ , tj. minimálním časovým intervalem, po který musí být na sepnutý tyristor přiloženo nulové nebo záporné napětí, aby obnovil svoji blokovací schopnost. Délku ochranné doby  $t_o$  je nutno volit tak, aby vždy platilo  $t_o > t_v$ . Ochrannou dobu v zapojení střídačového můstku realizujeme komutačním kondenzátorem  $C_k$  paralelně k zátěži. Na obr. 3 je náhradní schéma pro vypínání tyristoru S2 sepnutím S1, obr. 4 přináší průběh napětí na tyristoru S2 s vyznačenou ochrannou dobou  $t_o$ .



Jednu půlperiodu teče odporem pouze proud motorku, druhou půlperiodu je odpor připojen na plné napětí  $U_d$ . Dosazením konkrétních hodnot do vztahu

$$\Delta P_R = 1/2(R1^2 I_M^2 + U_d^2 / R)$$

vyjde ztráta 4,3 W, což je přijatelná hodnota.

Řízené spínače mohou být realizovány tranzistory nebo tyristory. Zatímco tyristory se u nás vyrábějí v dostatečně široké škále napětí i proudů, je jediným v úvahu připadajícím spínacím tranzistorem typ BF259 s mezními hodnotami  $U_{CE} = 300$  V a  $I_C = 100$  mA. Napěťové namáhání spínačů je největší v okamžiku přerušení proudu /například spínačem S2 na obr. 2/, kdy až do vyčerpání energie, akumulované v indukčnostech motoru, protéká proud  $I_M$  v původním směru. Nulové diody omezí napětí na hodnotu  $U_d$ . Měníč je ale nutno dimenzovat na kolísání síťového napětí  $\pm 10\%$  /dle ČSN/, takže musíme počítat s namáháním tranzistorů napětím

$$U_{CE \text{ max}} = 1,1 U_d = 1,1 \cdot 285 \text{ V} = 313,5 \text{ V}$$

To ovšem překračuje mezní katalogový údaj. Protože přísně vzato není tranzistor BF259 tuzemské výroby, jak požaduje zadání tematického úkolu, je pouze prostřednictvím Tesly dodáván do tuzemské maloobchodní sítě, soustředil jsem se na řešení s tyristory.

Komutačním kondenzátorem při změně napětí z hodnoty  $-U_M$  na  $+U_M$  teče proud  $I_k = I_M + I_{R2}$  s exponenciálně klesajícím průběhem. Pro vytvoření rezervy v ochranné době můžeme kalkulovat s maximální hodnotou 57,3 mA, vypočítanou ze vztahu

$$I_{k \text{ max}} = I_M + \frac{U_d + U_M}{R2}$$

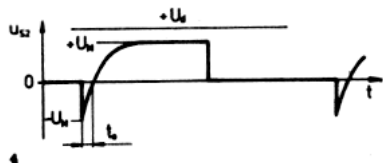
Ochranná doba

$$t_o = \frac{U_M C_k}{I_{k \text{ max}}}$$

bude zajištěna komutačním kondenzátorem o kapacitě

$$C_k = \frac{t_o I_{k \text{ max}}}{U_M}$$

Vhodné tyristory KT505 mají katalogovou hodnotu vypínací doby  $t_v = 40 \mu\text{s}$ , takže volíme-li  $t_o = 100 \mu\text{s}$ , vyjde hodnota  $C_k = 26 \text{ nF}$ . S rezervou volíme  $C_k = 47 \text{ nF}$ , tj. o stejné kapacitě, jaká je předepsána pro rozběhovou fázi motorku.



### 3. Popis zapojení

Úplné zapojení měniče kmitočtu pro motorek SMR 300 je na obr. 5. Dioda D1 a filtrační kondenzátor C1 tvoří jednocestný usměrňovač síťového napětí, který napájí jednak střídačový můstek s tyristory V1, V2 a jejich anodovými odpory R2, R3, jednak přes odpor R6 generátor zapalovacích impulsů, jehož napětí stabilizuje Zenerova dioda D2. C2 je komutační kondenzátor tyristorů, kondenzátor C3 posouvá fázi pro druhé vinutí motoru.

Generátor zapalovacích impulsů je v podstatě multivibrátor s tranzistory T1 a T2, kmitaící se střídou 1:1 a s kmitočtem řízeným napětím v uzlu odporů R12 a R13. Základní horní kmitočet se nastavuje trimrem R10 při sepnutém spínači S1 a s běžem potenciometru R7 ve středu dráhy. Po rozepnutí S1 se dolní kmitočet nastaví trimrem R9. Jemnou regulaci kmitočtu při-

bližně  $\pm 5\%$  umožňuje potenciometr R7. U potenciometrů jsou tečkou značeny začátky dráhy tak, aby se při otáčení doprava kmitočet zvětšoval.

V jednodušší verzi nemusí být jemná regulace kmitočtu využita. Pak se potenciometr R7 nahradí odporem mezi body 6 a 7, bod 6 se navíc propojí přímo s bodem 8.

Kondenzátory C5 a C8, blokující kolektory tranzistorů T1 a T2, umožňují vytváření zapalovacích impulsů tyristorů s dostatečnou amplitudou při malé spotřebě multivibrátoru. Zapalovací impulsy jsou generovány pouze strmou náběžnou hranou kolektorového proudu každého z tranzistorů multivibrátoru, což je důležité pro start střídače při zapojení na síť.

Rušíva napětí v kmitočtu vznikají na diodě D1 a na tyristorech V1 a V2. Jejich pronikání do sítě omezuje kondenzátor C10. Vyzařování kostrou motoru prostřednictvím kapacity mezi ní a vinutím snižuje kondenzátor C11.

Specifikaci součástek přináší tab. 1. Prototyp byl postaven na spojové desce 80 x 120 mm.

### 4. Výsledky měření a zkoušek

Jako první jsem sledoval chování motoru SMR 300 při různém napájecím kmitočtu, především jeho rozběhový moment ve srovnání s hodnotou při kmitočtu 50 Hz. S rostoucím kmitočtem rozběhový moment klesá, nad 70 Hz se už někdy motorek sám nerozběhne. Není tedy možno volit kmitočet odpovídající 45 ot/min. větší než asi 60 Hz. Při snižování kmitočtu moment vůči 50 Hz nejprve roste, pod 30 Hz však už začíná motorek křivkovat, pohyb rotoru není zcela plynulý. I když by

toto krokování mělo být značnou měrou odfiltrováno féminkovým převodem, bude vhodné volit kmitočet odpovídající otáčkám 33 1/3 větší než 30 Hz.

Jako kompromis jsem volil horní kmitočet  $f_2 = 50$  Hz, dolní potom vychází

$$f_1 = 50 \text{ Hz} \cdot \frac{33,33 \text{ min}^{-1}}{45,11 \text{ min}^{-1}} \approx 36,9 \text{ Hz}$$

Pro tyto kmitočty je také navržen multivibrátor měniče tak, aby běžce trimrů R9 a R10 byly přibližně uprostřed dráhy. Volba  $f_2 = 50$  Hz také umožňuje využít větší z fémenic mechanické volby otáček. Regulační rozsah potenciometru je pro  $f_2$  asi 80 Hz, pro  $f_1$  minimálně 30 Hz, takže na přesný průměr fémencie není nutno klást zvláštní požadavky.

Teplotní závislost kmitočtu  $T_f$  jsem měřil v termostatu s ventilátorem pomocí laboratorního jazýčkového kmitoměru s rozlišitelnou změnou kmitočtu 0,2 Hz. Protože při změně teploty o 35°C byla změna kmitočtu pod 0,2 Hz, je závislost lepší než  $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ , jak lze spočítat ze vztahu

$$T_f = \frac{\Delta f}{f \Delta T}$$

Praktická stabilita v běžném rozsahu kolísání teploty nejvýše  $\pm 10^\circ\text{C}$  kolem 20°C je tedy lepší než 0,114 %, což je téměř o řád lepší než stabilita kmitočtu sítě.

Závislost kmitočtu na napájecím napětí jsem zjišťoval v rozsahu napájecího napětí  $U_1 = 170$  až 240 V. Změna kmitočtu byla dostupnými prostředky neměřitelná. Přiklon při jmenovitém napětí 220 V činí 11,5 W.

Rušíva vyzařování jsem měl možnost posoudit pouze subjektivně. Síťový rozhlasový přijímač běžné citlivosti, umístěný ve vzdálenosti asi 0,5 m od měniče a napájený z téže zásuvky, nevykazoval na žádném z rozsahů/DV ŠV, KV, VKV/ ani u vzdálených stanic pozorovatelné rušení příjmu.

### 5. Závěr

Změřené vlastnosti funkčního vzorku i jeho dosavadní bezchybný chod, stejně jako relativní jednoduchost a malé rozměry odpovídají zadání tematického úkolu. Maloobchodní cena materiálu /bez motoru/ nepřesahuje 185,- Kčs, je tedy srovnatelná nebo nižší než u dosud zveřejněných typů elektronických měničů, a to bez použití jakéhokoli nedostupného nebo obtížně výrobitelného /vinutého/ dílu.

Tab. 1 Elektrické součástky

ODPORY A POTENCIOMETRY		min.	
R1	TR 636	15	25W
R2, 3	TR 511	10k	10W
R4, 5	TR 213	1k	0,5W
R6	MLT 0,5	M22	0,5W
R7	potenciometr TP 160	5k/N	
R8	TR 213	15k/A	0,5W
R9, 10	trimr TP 040	M22	
R11, 14	TR 213	12k/A	0,5W
R12, 13	TR 213	M33/A	0,5W

### KONDENZÁTORY

C1	TE 992	20 M	350V
C2, 3	TC 218 (184)	47k	630V
C4	TE 986	10M	35V
C5, 6, 7, 8	TC 216	68k	250V
C9	TE 988	1M	70V
C10	TC 218	22k	630V
C11	TC 218	6k8	630V

### POLOVODIČOVÉ SOUČÁSTKY

D1	usměrňovací dioda KY 130/900
D2	stabilizační dioda KZ260/15
T1, 2	tranzistor KC 148
V1, 2	tyristor KT505

### OSTATNÍ SOUČÁSTKY

1 ks	skleněná tavná pojistka 0,4 A
2 ks	držák pojistky 7 AA 654 12
9 ks	pájecí oko jednostranné pro Ø 2,5
1 ks	S1 – jednopólový spínač /páčkový, Isostat apod./

### Poznámka:

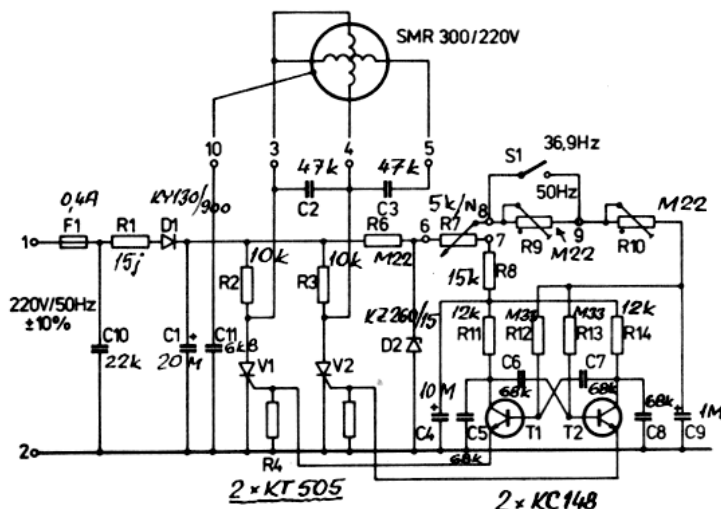
1. motorek výrazně křivkuje, proto se osvědčilo zařadit do série s každým vývodem motoru tlumivku o alespoň 200 závitů drátu CuP 0,2 mm, toroidní feritové jádro o průměru asi 16/12mm, délky 8 mm,  $A_L=500$  (přesněji nejištěné toroidy z výprodeje).

Přesto bylo lepší přemístit motorek dál od gramofonu. Zbytek krokování se pak daleko méně přenáší na talíř, jen, vzhledem k nedostupnosti příslušně dlouhého féminku, ho bylo nutné slepě z modelářské gumy 2x2mm.

2. Stejně tak tlumivky přispěly ke zmenšení rušení po vyčerpání kostičiček pokusu. (zapojení poměrně výrazně prskalo, ať se kostra motoru spojila s kostrou gramofonu, ložisky talíře a raménka či zůstala izolovaná - lepší to bylo při spojení kostry motoru přes kondenzátor 10n/630V s kostrou měniče)

Takže to je spíše zajímavost, dnes jsou k dispozici tišší pohony se zaručovanou EMC.

Sken a poznámky:  
Hil, Jičín, leden 2007





Na obrázcích je ukázka konstrukce uvedeného regulátoru "pod talíř".

Veškerá očekávání, tedy, že talíř ukostřený přes ložisko odstíní elektrickou i magnetickou složku rušení a, kdyby něco, bude možné vhodným kostřením "zblízka" případné zbytky rušení potlačit, tato konstrukce NESPLNILA.

Teprve již zmíněné přemístění i s motorkem dál od gramofonu přineslo pozornosti hodné zlepšení. Plus další opatření.

Jedná se však o nesporně zajímavou konstrukci. Ve své době běžně dostupné součástky, jednoduché zapojení a NEUVĚRITELNĚ STABILNÍ OTÁČKY.