

Ladislav K o k t a, VÚHU

Použití magnetofonu v měřicí technice

Úvod

V minulém období se v rámci měřicí techniky používaly pro zjišťování výsledků s trvalým záznamem klasické měřicí přístroje na principu zapisovací techniky. A to systémy písátkové nebo oscilografické se všemi nepříznivými průvodními jevy, které tyto nutně vykazují.

Míra přesnosti, setrvačnost systémů, obtížný způsob vyhodnocování, nezajištěná relace záznamu více hodnot, zarážovala tyto klasické přístroje do málo efektivní oblasti.

Měřicí magnetofon

Pro některé úkoly lze v měřicí technice použít pro záznam sledovaných jevů měřicí magnetofon. Jde zejména o takové jevy, které vyžadují při zpracování výsledků různé analyzátory nebo součinnost s výpočetní technikou. Dále lze účelně MM = měřicí magnetofon použít v případě, kdy je potřebné dosáhnout zrychlení či zpomalení záznamu, např. proto, aby se vystačilo s kmitočtovým rozsahem následných vyhodnocovacích zařízení.

Na MM jsou kladeny odlišné požadavky než na běžný komerční přístroj, zejména pokud jde o kmitočtový rozsah a amplitudovou věrnost. Například při měření kývání velko-
strojů se vyskytují kmitočty řádově desetiny Hz. Je tedy zcela oprávněný požadavek, aby MM pracoval již od 0 Hz, tedy aby přenášel i stejnosměrnou složku měřeného signálu. Naproti tomu požadavky na horní kmitočtovou hranici jsou poměrně nízké. Stačí pokud jsou v souladu s dalšími přípo-

jenými přístroji. Např. tenzometrické můstky pracují do mezního kmitočtu cca 2 kHz. Dále musí MM reprodukovat záznamy všech signálů amplitudově věrně, to znamená: jednou nastavená citlivost při záznamu a reprodukci musí být během celého procesu konstantní. Dále musí MM zaznamenávat více signálů současně a je žádoucí zachovat i jejich vzájemné časové vztahy.

Princip magnetofonového záznamu

Při běžném magnetofonovém záznamu se pohybuje pásek (1) s magnetickou vrstvou (2) přes záznamovou hlavu (3) se štěrbinou (4) mezi póly (5) viz obr. 1. Vinutím záznamové hlavy protéká střídavý proud odpovídající zaznamenávanému signálu. Magnetické silokřivky v místě štěrbin mezi póly vnikají do magnetické vrstvy pásku a tuto podélně magnetují. Záznam tedy tvoří množství elementárních magnetů.

jejich délka
$$l = \frac{1}{2} \cdot \frac{v}{f}$$

kde: v = rychlost pásku

f = zaznamenaný kmitočet

Příklad: pro 100 Hz a 10 kHz při rychlosti pásku $9,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, což je běžné u komerčního magnetofonu, bude délka těchto elementárních magnetů 0,475 mm a 0,00475 mm.

Aby se tento kmitočet mohl zaznamenat a snímat musí být štěrbinu ještě podstatně menší. V praxi bývá šířka štěrbin okolo 1 mikronu.

Vztah mezi intenzitou magnetického pole H na štěrbině záznamové hlavy a remanentní magnetickou indukcí B záznamového materiálu není lineární, záznam by byl neupotřebitelný pro značné zkreslení. K linearizaci remanentní cha-

rakteristiky a tím i eliminaci zkreslení používá se vysokofrekvenční předmagnetizace. To znamená, že záznamovou hlavou protéká kromě signálového proudu ještě proud z vysokofrekvenčního generátoru o kmitočtu asi 50-100 kHz. Velikost předmagnetizačního proudu se nastavuje na nejnižší zkreslení.

Reprodukce

Při reprodukci se posouvá pásek se záznamem konstantní rychlostí přes štěrbinu snímací hlavy. Magnetické siločáry záznamu vnikají do jádra hlavy a ve vinutí indukují napětí.

Indukované napětí: $U = 4,44 N f \Phi$

kde:

N = počet závitů vinutí hlavy

f = zaznamenaný kmitočet

Φ = magnetický tok v jádře hlavy

Za předpokladu konstantního záznamového proudu v celém kmitočtovém rozsahu by ideální průběh indukovaného napětí byl znázorněn křivkou (a) stoupající o 20 dB/dekádu. Skutečné indukované napětí je však úměrné kmitočtu jen do několika set Hz, dále stoupá pomaleji až do jistého maxima při několika kHz a potom rychle klesá, (viz obr. 2 křivka b).

Úbytek napětí při vyšších kmitočtech je způsoben od-magnetizováním záznamového materiálu při vyšších kmitočtech, kdy délka elementárních magnetů je velmi malá. Blíží-li se jejich rozměry šířce štěrbiny nastává další pokles vlivem tzv. štěrbinové funkce. Konečně rozhodující vliv na kmitočtový průběh u vyšších kmitočtů má kvalita záznamových materiálů.

Tyto nepříznivé vlivy se korigují příslušně upravenou kmitočtovou charakteristikou reprodukčního zesilovače,

která pro danou rychlost musí mít průběh dle obr. 3.

Vzhledem k tomu, že napětí indukované ve snímací hlavě klesá úměrně kmitočtu nelze tento způsob záznamu a reprodukce používat pro signály o velmi nízkých kmitočtech ani pro signály se stejnoměrnou složkou. K tomu účelu slouží tzv. měřicí magnetofony, kde převedený signál moduluje kmitočet pomocného oscilátoru.

Měřicí magnetofon TESLA MM 141

Měřicí magnetofon TESLA MM 141 je určen pro současný záznam 14 kanálů v kmitočtovém pásmu 0 - 2500 Hz nebo 0,2 - 30 kHz. Lze jím dosáhnout až osminásobné zrychlení či zpomalení zaznamenávaného děje.

Přístroj používá pro záznam magnetofonové pásky šířky 1" (25,4 mm) typu BASF LGS 35. Magnetofon má čtyři volitelné rychlosti, a to $4,75 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, $9,5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, $19,05 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$, $38 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$. V magnetofonu lze použít na libovolném kanálu jednu ze dvou možností záznamu, a to:

- a) záznam s kmitočtovou modulací FM
- b) záznam přímý (direkt) D

a) Záznam s kmitočtovou modulací FM

Na vstup záznamové jednotky EF 2 101 přivádíme signál o úrovni 1 - 10 V_{ef}. Vstupním děličem snížíme úroveň na 1 V. Vstupní stejnosměrné nebo střídavé napětí se v modulatoru záznamové jednotky mění na střídavý proud, jehož kmitočet je nepřímo úměrný vstupnímu napětí. Tento kmitočet se zaznamená na pás, a to s konstantní amplitudou odpovídající magnetickému nasycení pásku. Vysokofrekvenční předmagnetizace se nepoužívá.

Při snímání se v demodulátoru reprodukční jednotky EFR 011 opět mění na signál, který byl při záznamu na vstupu záznamové jednotky.

Tento systém umožňuje velkou věrnost amplitudy na kvalitě záznamového materiálu téměř nezávislou a záznam od 0 Hz tedy stejnosměrných, kvasistacionárních dějů jak je například potřebné při tenzometrických měřeních.

b) Záznam přímý D

Vstupní signál o úrovni 0,3-10 V se přivádí na záznamovou jednotku EDZ 100 a běžným způsobem s vysokofrekvenční předmagnetizací se zaznamenává na magnetofonový pás. Při reprodukci přichází signál ze snímací hlavy na reprodukční jednotku EDR 011 obsahující zesilovač s příslušnými obvody korigujícími kmitočtový průběh snímací charakteristiky, viz obr. 3.

Záznam přímý D lze používat pro měřicí účely jen v případě, že je přípustné lineární zkreslení ± 3 dB v přenášeném pásmu.

Pohonný mechanismus magnetofonu MM 141

Je vybaven třemi stejnosměrnými kolektorovými motory. Hnací motor je ovládán elektronickou regulací otáček. Převíjecí motory jsou rovněž řízeny elektronikou zabezpečující konstantní tah pásku.

Skříň magnetofonu je vybavena vytápěcím a větracím zařízením ovládaným termostatem.

Všechny obvody elektroniky i motorů jsou napájeny stabilizovaným napětím.

Vstupní, výstupní, napájecí napětí jakož i nosný kmitočet při provozu FM lze kontrolovat vestavěným měřicím přístrojem. Magnetofon nemá mazací hlavu, starý záznam se ruší mazací tlumivkou.

Kmitočtová modulace není jediný možný způsob vhodný pro magnetický záznam měřicích signálů. Někteří výrobci užívají též modulaci "DELTA", kde přivedený signál ovládá

poměr délky trvání kladné a záporné části impulsů.

V posledních letech stále více firem používá u svých magnetofonů různé druhy pulsně kódových modulací (PCM). Docilují tím vynikajících technických parametrů záznamu: odstup signál - šum, nepatrné přeslechy, nepatrné zkreslení, vysoká přesnost. Záznam se může dít přímo v digitální formě vhodné přímo pro spolupráci s počítačem.

Některé způsoby umožňují zaznamenat na jednu stopu větší počet měřicích kanálů (za cenu úměrného zúžení kmitočtového rozsahu). Možnosti a využití MM se tím dále rozšiřují.

Hlavní technická data magnetofonu TESLA MM 141

Při provozu FM

Vstupní úroveň nastavitelná	$\pm 1 - 10 V_{ef}$
Výstupní - " -	$\pm 1 V_{ef}$
Vstupní impedance	10 k Ω
Výstupní - " -	20 Ω
Zatěžovací - " -	200 Ω

Rychlost cm.s ⁻¹	Kmitoč. rozsah Hz	Odstup rušivých napětí dB	Nosný kmitočet Hz
4,75	0 - 312	- 35	1687,5
9,5	0 - 625	- 40	3375
19,05	0 - 1250	- 42	6750
38,1	0 - 2500	- 42	13500

Provoz D

Vstupní úroveň nastavitelná	0,3 až 10 V_{ef}
Výstupní - " -	1 V_{ef}

Vstupní impedance 10 k Ω
Výstupní - " - 5 k Ω

Rychlost cm.s ⁻¹	Kmitočtový rozsah kHz	Odstup rušivých napětí dB
4,75	0,2 - 3,75	- 30
9,5	0,2 - 7,5	- 36
19,05	0,2 - 15	- 38
38,01	0,2 - 30	- 38

Přeslechy - 42 dB
Nelineární zkreslení 5 %
Kmitočtová charakteristika $\pm$ 3 dB

Napájení

Akumulátorová baterie 22 - 29,5 V
Příkon 240 VA
Přes napáječ ENN 800 ze sítě 220 V $\pm$ 10 %
Příkon 250 VA
Rozměry 300x490x730 mm
Hmotnost bez cívek a bez napáječe 60 kg
Doporučená pracovní teplota od + 20 °C do + 25 °C
Prostředí: chemicky neagresivní, nevýbušné, bez výparů síry.

Vlastní použití měřicího magnetofonu EMM 141 při provoz- ních měření na technologických celcích

Jak již bylo uvedeno v předchozí části článku, je vhodné používat měřicí magnetofon pro zaznamenávání jevů s výrazně dynamickým charakterem průběhu. Takovéto procesy nastávají prakticky ve všech strojních částech dobývacích

mechanismů během jejich provozu. Přesná znalost těchto procesů mechanického namáhání právě z hlediska jejich dynamičnosti umožní jak vhodné zasazování těchto strojů do příslušných půdně-geologických partií, tak i přesné plánování preventivní údržby a oprav. Pro vlastní návrhy a konstrukci těžebních mechanismů tvoří tyto poznatky nenahraditelné podklady.

Jedním z cílů takovýchto experimentálních výzkumů a měření je i snaha o odhalení předpokládaných korelací mezi dynamickými jevy probíhajícími v některých typických místech konstrukce a zejména zjištění jaká je vzájemná korelace mezi namáháním v těchto uzlech a průběhem elektrického zatížení pohonu kola.

K těmto měřením není možné použít jinou záznamovou techniku, než právě měřicího magnetofonu. Nelze se ovšem domnívat, že jeho použití při provozních měření probíhá bez určitých obtíží. Především transport magnetofonu na rýpadlo je při velké hmotnosti samotného MM, napájecího zařízení a dalšího příslušenství nesnadné. Další nevýhodou, zejména při vícekanálovém záznamu, je to, že celou měřicí sestavu je nutno doplnit ještě dalším zobrazujícím nebo záznamovým zařízením, např. osmikanálovým osciloskopem s pomalým odezníváním signálu. Z těchto důvodů lze tedy používat této záznamové techniky jen při několika vybraných komplikovaných měření.

Druhá stránka takovýchto obsáhlých měření, při nichž jsou obsazeny měřicími signály prakticky všechny nahrávací zesilovače MM, spočívá ve velice náročném vyhodnocení, které je možné pouze na samočinném počítači.

Jelikož se nepodařilo, ať již z důvodů nedostatečného strojového času, nebo nedostatku potřebných technických programů, zajistit toto strojní zpracování v našem ústavu ani v blízkém okolí, byla před několika lety navázána spolupráce s Výzkumným a zkušebním ústavem v Praze Letňanech, kde nám provádějí vyhodnocování podle našich požadavků.

Dosavadní praxe tohoto vyhodnocování je taková, že analogový nahraný záznam měřených procesů je převáděn do digitální formy zápisu na magnetické pásce speciálním převodníkem typu IMS II. Magnetická páska má formát umožňující její využití v počítačích 3. generace. Zařízení vypisuje 10 nahraných kanálů současně, před vlastní digitalizací jsou záznamy filtrovány analogovou dolnofrekvenční propustí s mezní frekvencí 10 Hz.

Tyto digitalizované bloky informací jsou zpracovány ve výpočetním středisku VZLÚ za použití jejich programů. Pro vyhodnocování statistických charakteristik druhého řádu se ukázalo účelné, pro dosažení stacionárního charakteru záznamu, členit původní soubory na více kratších úseků. Magnetická páska s bloky digitálních údajů, vyjádřených třícifernými čísly se znaménkem v tzv. jednotkách interního zpracování (JIZ) jsou převáděny počítačem EC 1021 na děrnou pásku a tato je dále zpracována na počítači Minsk 22. Tento dosti nepraktický postup byl zvolen proto, že v době prvních zpracování nebyly ve VZLÚ k dispozici potřebné programy pro počítač EC 1021, zatímco soubor programů pro Minsk 22 je ve VZLÚ již řadu let rutinně používán. Ani v pozdější době nebylo od tohoto postupu upuštěno, neboť se ukázalo, že počítač EC 1021 je pro podobné vědecko-technické programy zcela nevhodný, nehledě k jeho neustálému využití pro ekonomickou agendu VZLÚ. I tak však lze konstatovat, že soubor vyhodnocovaných statistických charakteristik poskytuje solidní informaci o namáhání měřených míst.

Stinnou stránkou popsaného vyhodnocování je, že musí být zadáváno organizaci mimo rámec SHD, čímž vzniká neúměrné časové zpoždění a značné finanční náklady. Určité zlepšení lze očekávat v blízké budoucnosti, neboť ve VZLÚ je v současné době uváděno do provozu nové vyhodnocovací zařízení, pracující na principu Fourierovy spektrální analýzy. Toto nové zařízení umožňuje přímou spolupráci magne-

tofonu a počítače bez nutnosti analogo-digitálního převodu, vyhodnocuje záznam v reálném čase a podstatně zkracuje nároky na strojový čas.

Recenzoval: Ing. František Felcman

S h r n u t í

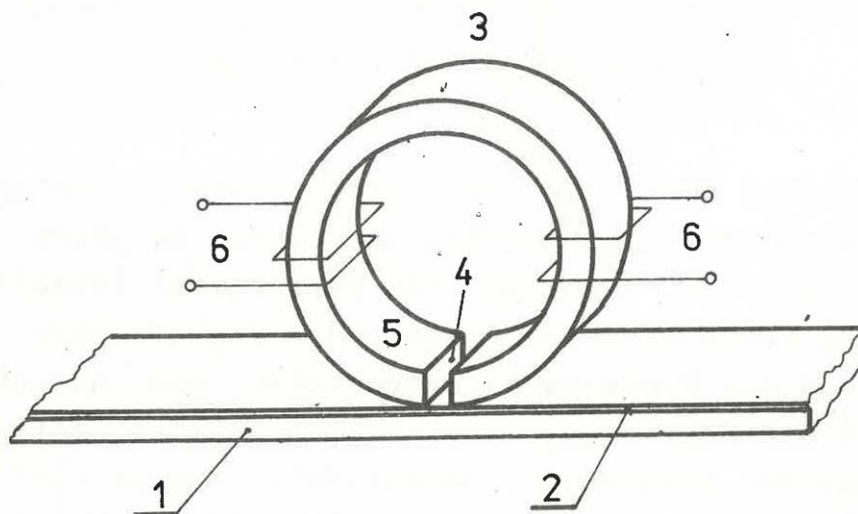
Použití magnetofonu v měřicí technice

Článek vychází z požadavků kladených na měřicí magnetofon, zvláště na jeho kmitočtovou charakteristiku, která musí být lineární již od nula (0) Hz. Stručně popisuje princip magnetického záznamu a reprodukce a z toho odvozuje omezení kmitočtových vlastností na nejbližších kmitočtech. Dále uvádí krátký popis měřicího magnetofonu TESLA MM 141, včetně jeho technických parametrů. Závěrem se dotýká problematiky vyhodnocování zaznamenaných signálů.

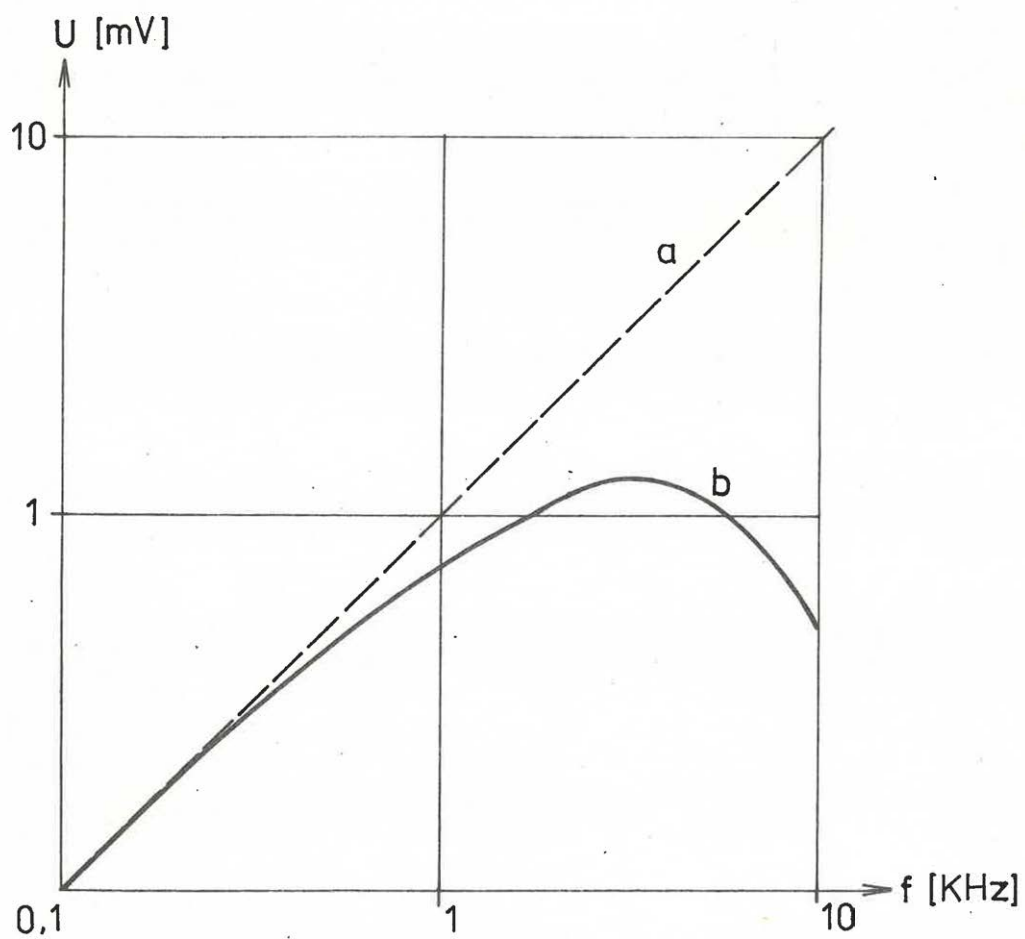
Р е з ю м е

Применение магнитофона в измерительной технике

В статье оформлены главные требования предъявляемые к измерительному магнитофону, прежде всего что касается его частотной характеристики, которая должна быть линейной уже начиная с нуля (0) гц. Вкратце описан принцип магнитной записи и ее воспроизведения. На основании этих данных выведены рациональные пределы ограничения частотных характеристик в области самых низких частот. Дано краткое описание измерительного магнитофона типа ТЕСЛА - ММ 141 с приведением его основных технических данных. Затронута также проблематика обратного истолкования и оценки сигналов, записанных на магнитной ленте.



Obr. 1



Obr. 2

FREKVENČNÍ CHARAKTERISTIKA REPRODUKČNÍHO ZESILOVAČE EDR 011

