

2. ZÁKLADNÍ PARAMETRY FÁZOVÉHO ZÁVĚSU – APLIKACE V DEMODULÁTORECH

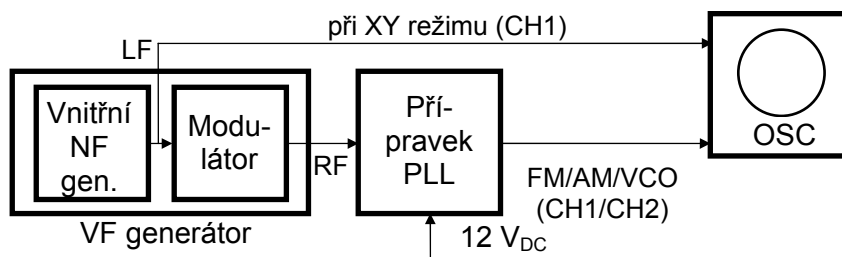
Cíl měření

- 1) Změřte frekvenci volných kmitů napětím řízeného oscilátoru a stejnosměrnou hodnotu chybového napětí při nulovém vstupním VF signálu.
- 2) Určete rozsahy zachycení a udržení a závislost stejnosměrné hodnoty chybového napětí na frekvenci vstupního VF signálu.
- 3) Fázový závěs využijte pro demodulaci frekvenčně modulovaného VF signálu. Změřte závislost velikosti demodulovaného napětí na frekvenčním zdvihu a posuďte linearitu demodulátoru. Ověřte závislost velikosti demodulovaného napětí na velikosti vstupního VF signálu. Nepovinně změřte závislost velikosti demodulovaného napětí na frekvenci modulačního signálu.
- 4) Fázový závěs využijte pro obnovu nosné vlny pro účel synchronní demodulace amplitudově modulovaného signálu. Změřte závislost velikosti demodulovaného napětí na hloubce modulace a posuďte linearitu demodulátoru. Ověřte závislost velikosti demodulovaného napětí na velikosti vstupního VF signálu. Nepovinně změřte závislost velikosti demodulovaného napětí na frekvenci modulačního signálu.

Přístrojové vybavení pracoviště

VF generátor Rohde&Schwarz SML01
 Digitální osciloskop Tektronix TDS380
 Stabilizovaný zdroj B2-27 VL Poděbrady

Blokové schéma

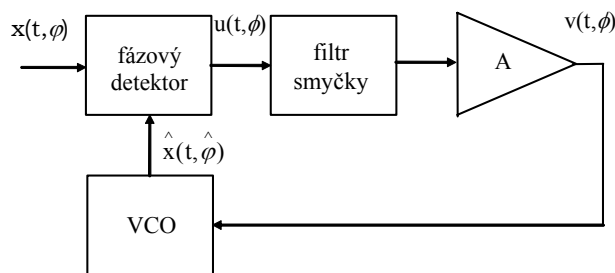


Obr. 1: Blokové schéma

Stručná teorie

Fázový závěs - Phase Lock Loop (PLL) je funkční blok, se kterým se velice často setkáváme v mnoha konkrétních implementacích. Princip tohoto zpětnovazebního systému byl znám již ve 20. letech minulého století. Od té doby se závěsu často využívá především v synchronizačních částech obvodů. Obvodová realizace nabývá mnoha různých podob, někdy nemusí být na první pohled patrné, že se jedná právě o fázový závěs. Můžeme se tak setkat s realizací PLL v podobě části programu digitálního signálového procesoru. Problematika PLL je poměrně důležitá a je dobré se kromě teoretických poznatků seznámit alespoň s nejjednoduššími charakteristikami prakticky. K tomu by měl posloužit školní přípravek, který slouží k demodulaci amplitudové a frekvenční modulace s využitím PLL smyčky.

Fázový závěs je každý funkční blok, který je tvořen zpětnovazebním řídicím systémem, kde sledovanou veličinou je fáze vstupního signálu. Výstupem pak téměř vždy je signál s fázovým průběhem co nejvěrněji podobným průběhu fáze signálu vstupního.



Obr. 2: Blokové schéma PLL

Na obr. 2 je znázorněné blokové schéma fázového závěsu. Ve fázovém detektoru se získává signál $u(t, \phi)$ odpovídající rozdílu fází vstupního signálu $x(t, \phi)$ a signálu z VCO $\hat{x}(t, \hat{\phi})$.

Rozdíl $\phi(t) = \phi(t) - \hat{\phi}(t)$ nazýváme chybou fáze. Chybový signál $u(t, \phi)$ je dále zpracováván filtrem smyčky (s jednotkovým přenosem v propustném pásmu) a zesilovačem (s přenosem A). Signál $v(t, \phi)$, potom zpětně řídí VCO, konkrétně doladuje frekvenci signálu na jeho výstupu tak, aby zmiňovaný rozdíl fází byl stále konstantní (což zajišťuje integrační charakter filtru smyčky).

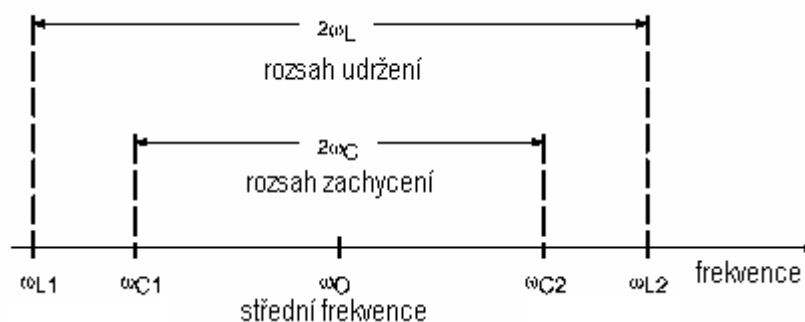
Následuje popis pojmů užívaných k popisu PLL a znázorněných na obr. 3.

Volně běžící frekvence (Free-running Frequency) ω_0 , popřípadě střední frekvence, je frekvence VCO, v případě, kdy není závěs zavěšen na fázi (potažmo frekvenci) vstupního signálu.

Rozsah udržení synchronizace (Lock Range, Synchronization Range) $2\omega_L$ je frekvenční rozsah, symetricky umístěný kolem ω_0 , ve kterém je fázový závěs v zasynchronizovaném stavu schopen sledovat vstupní signál (bez přítomnosti rušení). V případě výskytu nelinearit může dojít k porušení symetrie. Vzdálenost krajních frekvencí od ω_0 se v anglické literatuře označuje jako Tracking Range, popř. Hold-in Range. Jelikož po zasynchronizování je chybový signál stejnosměrný (za předpokladu, že obvod fázového závěsu byl předtím ustálený, mají signály přicházející na fázový detektor stejný kmitočet, liší se pouze počáteční fází), není pásmo $2\omega_L$ závislé na vlastnostech filtru smyčky (pouze na zesílení A).

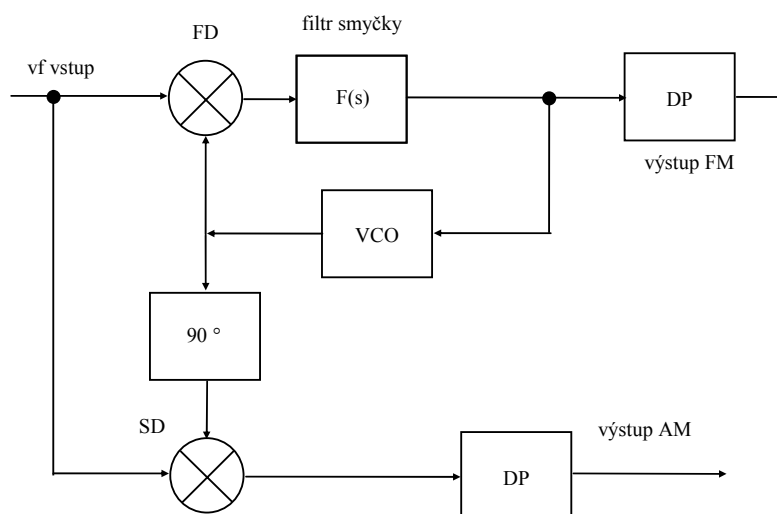
Rozsah zachycení synchronizace (Capture Range, Acquisition Range) $2\omega_C$ je pásmo frekvencí, při nichž dojde u smyčky k zasynchronizování (ustálený stav), opět bez uvažování rušení. Podobně jako v předchozím případě se tento rozsah skládá ze dvou pásem označovaných Lock-in Range nebo Pull-in Range. Naopak, $2\omega_C$ je dáno vlastnostmi filtru smyčky (čím vyšší je mezní kmitočet, tím širší je tato oblast) a je vždy menší než $2\omega_L$.

Měřený přípravek s PLL (realizovaný integrovaným obvodem NE564), jehož blokové schéma je na obr. 4, umožňuje demodulovat modulovaný vstupní signál s modulací AM či FM s hodnotou frekvence nosné vlny 1 MHz. Pro demodulaci AM je užit synchronní demodulátor (integrovaný obvod MA3005), PLL slouží k obnově nosné vlny. Princip synchronní AM demodulace spočívá v násobení modulovaného VF signálu obnovenou (nemodulovanou, soufázovou) nosnou vlnou. Jde o tzv. multiplikativní směšování na nulovou frekvenci. Značnou výhodou tohoto způsobu demodulace je malé zkreslení, proto se užívá především pro demodulaci analogových signálů tam, kde je této kvality třeba. Obnovená nosná vlna na výstupu obvodu PLL má rozdíl fáze oproti vstupnímu signálu 90 stupňů. Proto jsou zařazeny dva PLL za sebou (v obrázku je druhý obvod PLL označen blokem 90 stupňů), a tak má obnovená nosná vlna opačnou fázi, což však již při násobení nečiní problém. Demodulace FM



Obr. 3: Rozsah zachycení a udržení synchronizace

je přímo realizována obvodem PLL, kdy demodulovaný signál odpovídá střídavé složce chybového napětí, nasuperponované okolo stejnosměrné hodnoty. Je-li na vstup PLL přiveden frekvenčně modulovaný signál a smyčka je zasynchronizována, lze přímo řídicí napětí pro VCO užít jako výstup frekvenčně demodulovaného signálu. Rušivé složky na výstupech potlačují dolní propusti. Zkreslení výstupních napětí závisí na linearitě obvodu realizujícího násobení, respektive linearitě převodu napětí - frekvence VCO. Přípravek je umístěn v krabici z pocínovaného plechu a opatřen pěti BNC-konektory (vstup: vf, výstupy: FM – napětí řídicí VCO, AM – výstup AM demodulátoru, VCO – výstup VCO prvního PLL, nosná – výstup VCO druhého PLL) a zdírkami pro připojení napájení 12 V_{DC}. **Maximální rms hodnota napětí vstupního VF signálu je 0.5 V.**



Obr. 4: Blokové schéma přípravku s PLL (demodulátor s fázovým závěsem)

Postup měření

Poznámky k měření

Vyzkoušejte si níže uvedené nastavení generátoru a ovládání osciloskopu.

K nastavení generátoru

- výchozí nastavení: PRESET → SELECT
- výstupní VF signál se zapíná / vypíná: RF ON/OFF (stav je zobrazen na displeji)
- výstupní NF signál se zapíná / vypíná: MENU → LF Output → State → On / Off (při zapnutí je zobrazeno na displeji LF Output)

- frekvence nosné vlny (VF signálu) např. 1 MHz: FREQ → 1 → M
- úroveň VF signálu např. 50 mV_{rms}: LEVEL → 50 → m (hodnoty se zadávají rms)
- modulace FM např. zdvih 500 kHz, modulační frekvence 500 Hz: MENU → MODULATION → FM →
 FM Deviation → 500 → k
 FM Source → LFGGen
 LFGGen Freq → 500 → ENTER
 (při aktivované FM modulaci se na displeji zobrazuje „FM“)
- vypnutí FM modulace: MENU → MODULATION → FM → FM Source → Off
- modulace AM např. hloubka modulace 10 %, modulační frekvence 1 kHz: MENU → MODULATION → AM →
 AM Depth → 10 → ENTER
 AM Source → LFGGen
 LFGGen Freq → 1 → k
 (při aktivované AM modulaci se na displeji zobrazuje „AM“)
- vypnutí AM modulace: MENU → MODULATION → AM → AM Source → Off
- modulaci je možno deaktivovat / opět aktivovat: MOD ON/OFF (stav je zobrazen na displeji)

K ovládání osciloskopu

- kanál se aktivuje (platí pro zobrazení signálu i další volby v menu) / vypíná: stisknutím CH1, resp. CH2 / WAVEFORM OFF
- automatické nastavení: AUTOSET (pozor některé nastavení ruší, je vhodné jej užít pouze v úplném začátku měření a po té již vstupní dělič a časovou základnu nastavovat ručně)
- citlivost aktivního kanálu se nastavuje vstupním děličem: $\blacktriangle$ SCALE
- posun stopy svisle, vodorovně: $\blacktriangle$ POSITION, $\blacktriangleleft$ POSITION $\blacktriangleright$
- časová základna (stejná pro oba kanály): $\blacktriangleleft$ SCALE $\blacktriangleright$
- vazba pro vstupní signál – stejnosměrná / střídavá, DP filtr – zařazen / vyřazen (pro aktivní kanál): VERTICAL MENU → Coupling: DC / AC, Bandwidth: 20 MHz / Full
- zdroj synchronizace, vazba pro synchronizaci: TRIGGER MENU → Source: Ch1 / Ch2, Coupling: DC / AC / HF Reject / LF Reject (pokud osciloskop ztratí synchronizaci, může zcela přestat zobrazovat signály; pro stabilnější stopu je vhodné při zobrazování signálů s nízkou frekvencí volit HF Reject a naopak pro signály vyšších frekvencí LF Reject)
- měření parametrů (pro aktivní kanál) – např. frekvence / efektivní hodnota / střední hodnota (stejnosměrná při DC vazbě): MEASURE → pomocí -more- nalistovat a tlačítka na pravé straně u displeje zvolit Frequency, RMS, Mean; osciloskop měří správně hodnotu napětí, pokud signál vyplňuje alespoň 1/3 obrazovky; při měření frekvence je potřeba zobrazit více než jednu periodu
- průměrování vstupního signálu / běžný režim (pro oba kanály současně): ACQUIRE → Average (např. 32) / Sample
- režim XY / běžný časový režim: DISPLAY → Format → XY / YT

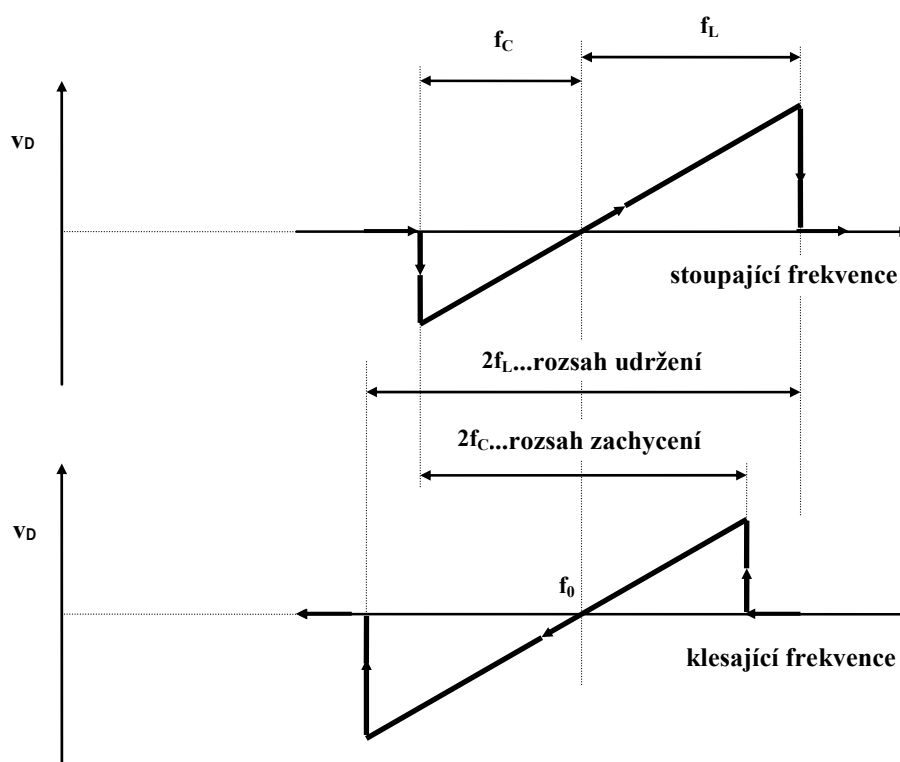
K bodu 1)

Na vstup přípravku nepřivádějte žádný vstupní signál (na VF generátoru odpojte výstup) a pomocí osciloskopu změřte frekvenci volných kmitů napětím řízeného oscilátoru (výstup je označený VCO, sledujte jej na CH1) a stejnosměrnou hodnotu chybového napětí (na výstupu označeném FM, sledujte jej na CH2). Synchronizujte podle kanálu CH1. Kanál CH2 musí mít stejnosměrnou vazbu. Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky.

Pro stálejší hodnotu měřených veličin můžete průměrovat vstupní signál. **Do odpovědí na závěrečné úkoly a otázky doplňte obě změřené hodnoty.**

K bodu 2)

Proměřte závislost stejnosměrné hodnoty chybového napětí (výstup FM přivedený na CH2) na frekvenci VF vstupního signálu. Pro **nemodulovaný** vstupní VF signál zvolte na VF generátoru $50 \text{ mV}_{\text{rms}}$ a frekvenci při měření nastavujte podle obr. 5 (tzn. nejprve pouze monotónně zvyšujte, až poté monotónně snižujte), přičemž hodnoty volte dle tabulky níže. Kanál CH2 musí mít stejnosměrnou vazbu, na kanálu CH1 sledujte výstup VCO a zároveň na tento signál synchronizujte s vazbou LF Reject. Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky. Pro stálejší hodnotu měřených veličin můžete průměrovat vstupní signál. Po nastavení osciloskopu začněte s měřením od frekvence 550 kHz, odečítejte hodnoty stejnosměrného napětí a doplňujte je do připravené tabulky.



Obr. 5: Měření rozsahů

f (kHz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
U _{up} (V _{DC})										
U _{down} (V _{DC})										

f (kHz)	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
U _{up} (V _{DC})										
U _{down} (V _{DC})										

V dalším měření určete rozsahy zachycení a udržení. Nejprve sledujte tyto charakteristiky PLL pomocí osciloskopu v režimu XY. Nyní je vstupní VF signál FM **modulován** harmonickým signálem o frekvenci 500 Hz s frekvenčním zdvihem 500 kHz a hodnota frekvence nosné vlny je 1 MHz. Na displeji VF generátoru zkontrolujte, zda signál není též modulován AM modulací. Výstupní chybový signál PLL (výstup FM) přiveďte na kanál CH2 (DC vazba!) a modulační signál (NF výstup na VF generátoru, označený LF) na CH1 (libovolná vazba). Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky. Průměrování vstupního signálu nepoužívejte. Osciloskop přepněte do režimu XY a zvolte časovou základnu 250 μ s. Pomocí nastavení vstupního děliče a posunu stopy ve svislém směru (nastavujete aktivní kanál, pro posun v kolmém směru aktivujte druhý) zajistěte, aby vykreslený průběh pokryl právě celé stínítko osciloskopu. V tom případě lze jednoduše určit jaké hodnotě ve frekvenci odpovídá 1 dílek na ose X. Tuto hodnotu určete a posuďte, zda doplněné naměřené hodnoty v tabulce výše korespondují se získaným obrázkem. Z obrázku lze přibližně odhadnout hodnoty význačných frekvencí, ze kterých se určí oba sledované rozsahy.

Na závěr této části určete význačné frekvence s přesností na 10 kHz a z nich spočítejte rozsah udržení a rozsah zachycení. (Využijte výsledky dosavadního měření, ze kterých již znáte přibližné hodnoty význačných frekvencí.) VF signál volte opět **nemodulovaný** s napětím 50 mV_{rms}. Na osciloskopu zapněte běžný časový režim a na kanálu CH2 sledujte výstupní chybový signál PLL (výstup FM, DC vazba!), hodnoty napětí již nezaznamenávejte, soustřeďte se pouze na hodnoty frekvence vstupního VF signálu. Na kanálu CH1 sledujte výstup VCO a zároveň na tento signál synchronizujte. Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky. Pro stálejší hodnotu měřených veličin můžete průměrovat vstupní signál. Význačné frekvence doplňte níže, hodnoty obou rozsahů vypočítejte a doplňte do odpovědi na závěrečné úkoly a otázky.

rozsah udržení ... od do

rozsah zachycení ... od do

K bodu 3)

Fázový závěs využijte pro demodulaci frekvenčně modulovaného VF signálu. Vstupní VF signál 1 MHz modulujte frekvenčně, harmonickým signálem o frekvenci 1 kHz, s frekvenčním zdvihem podle tabulky níže od 10 kHz do 250 kHz. Úroveň VF napětí nastavte 50 mV_{rms}. Na displeji VF generátoru zkontrolujte, zda signál není též modulován AM modulací. Výstupní demodulovaný signál je nasuperponovaný na chybovém signálu PLL (výstup FM). Sledujte jej na kanálu CH2 se střídavou (!) vazbou (střídavý signál je násobně nižší než stejnosměrná složka, je nutno zvýšit citlivost kanálu). Modulační signál (NF výstup na VF generátoru, označený LF) sledujte na CH1 (libovolná vazba) a na tento signál synchronizujte s vazbou HF Reject. Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky. Pro stálejší hodnotu měřených veličin můžete průměrovat vstupní signál. Změřte závislost rms hodnoty demodulovaného napětí na frekvenčním zdvihu, hodnoty doplňte do tabulky níže a posuďte linearitu demodulátoru (odpověď doplňte do závěru návodu).

zdvih (kHz)	10	25	50	75	100	125	150	175	200	250
U _{FM} (mVrms)										

V další části měření ověřte závislost velikosti demodulovaného napětí na velikosti vstupního VF signálu. Pro libovolnou modulační frekvenci a libovolný frekvenční zdvih změřte hodnotu VF napětí na $100 \text{ mV}_{\text{rms}}$ a sledujte, zda a jak se změní velikost demodulovaného napětí. **Odpověď doplňte do závěru návodu.**

Na závěr této části změřte **nepovinně** závislost rms hodnoty demodulovaného napětí na frekvenci modulačního signálu podle tabulky níže od 20 Hz do 20 kHz. VF napětí nastavte $50 \text{ mV}_{\text{rms}}$, frekvenci nosné vlny 1 MHz a frekvenční zdvih 75 kHz. Naměřené hodnoty запиšte do tabulky níže a z naměřených hodnot (napětí!) vypočítejte přenosovou amplitudovou charakteristiku v jednotkách dB, vztaženou k modulační frekvenci 1 kHz.

f (Hz)	20	50	100	500	1000	2000	5000	10000	15000	20000
U_FM (mVrms)										
a_FM (dB)					0					

K bodu 4)

Fázový závěs využijte pro obnovu nosné vlny pro účel amplitudové synchronní demodulace amplitudově modulovaného signálu. Vstupní VF signál modulujte AM, harmonickým signálem o frekvenci 1 kHz, s hloubkou modulace podle tabulky níže od 10 % do 100 %. Hodnotu VF napětí nastavte $50 \text{ mV}_{\text{rms}}$ a frekvenci nosné vlny 1 MHz. Na displeji VF generátoru zkontrolujte, zda signál není též modulován FM modulací. Výstupní demodulovaný signál naleznete na výstupu označeném AM. Sledujte jej na kanálu CH2 s libovolnou vazbou. Modulační signál (NF výstup na VF generátoru, označený LF) sledujte na CH1 (libovolná vazba) a na tento signál synchronizujte s vazbou HF Reject. Zařaďte filtr do 20 MHz pro oba kanály, abyste omezili rušivé složky. Pro stálejší hodnotu měřených veličin můžete průměrovat vstupní signál. Změřte závislost rms hodnoty demodulovaného napětí na hloubce modulace, hodnoty doplňte do tabulky níže a posuďte linearitu demodulátoru (odpověď doplňte do závěru návodu).

m_AM (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U_AM (mVrms)										

V další části měření ověřte závislost velikosti demodulovaného napětí na velikosti vstupního VF signálu. Pro libovolnou modulační frekvenci a libovolnou hloubku modulace změřte hodnotu VF napětí na $100 \text{ mV}_{\text{rms}}$ a sledujte, zda a jak se změní velikost demodulovaného napětí. **Odpověď doplňte do závěru návodu.**

Na závěr této části změřte **nepovinně** závislost rms hodnoty demodulovaného napětí na frekvenci modulačního signálu podle tabulky níže od 20 Hz do 20 kHz. VF napětí nastavte $50 \text{ mV}_{\text{rms}}$, frekvenci nosné vlny 1 MHz a hloubku modulace 75 %. Naměřené hodnoty запиšte do tabulky níže a z naměřených hodnot (napětí!) vypočítejte přenosovou amplitudovou charakteristiku v jednotkách dB, vztaženou k modulační frekvenci 1 kHz.

f (Hz)	20	50	100	500	1000	2000	5000	10000	15000	20000
U_AM (mVrms)										
a_AM (dB)					0					

Domácí příprava – bez vypracované domácí přípravy nebude povoleno zahájení měření

- Jaký je rozsah frekvencí přenášeného NF signálu při rozhlasovém vysílání využívající FM a AM?
FM:
AM:
- Jaký je rozdíl mezi parametry PLL – rozsahem zachycení a rozsahem udržení?
- Jak se přepočítá přenosová amplitudová frekvenční charakteristika na jednotky dB? Měříme hodnoty výstupního napětí, vstupní napětí udržujeme konstantní, charakteristiku vztahujeme ke kmitočtu 1 kHz.

Závěrečné úkoly a otázky – vypracují se při, případně na konci měření

- Naměřené hodnoty:
frekvence volných kmitů =
stejnoseměrná hodnota chybového napětí =
rozsah udržení =
rozsah zachycení =
- Je demodulované napětí pro FM, resp. AM závislé na velikosti vstupního VF signálu? Pokud jste provedli nepovinná měření, posuďte, zda je dostatečná šířka pásma na NF výstupech pro obě modulace, pokud bychom demodulátorů chtěli využít pro rozhlasové vysílání FM, resp. AM. Uveďte, zda měřený přípravek s demodulátory využívající PLL zachovává linearitu při demodulaci v měřeném rozsahu frekvenčního zdvihu, resp. hloubky modulace pro FM, resp. AM.

FM:

- závislost na velikosti vstupního VF signálu...

- šířka pásma (nepovinné měření) ...

- linearita...

AM:

- závislost na velikosti vstupního VF signálu...

- šířka pásma (nepovinné měření) ...

- linearita...
