

**Ю.Ф. ПАВЛЕНКО**, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХП»  
**К.В. ГОЛІКОВА**, студентка НТУ «ХП»

## АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ І МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТІК ВИМІРЮВАЧА МОДУЛЯЦІЇ

Проведено поглиблений розгляд функціональних можливостей та метрологічних характеристик вимірювача модуляції. З чого можна зробити висновок, що реальні метрологічні можливості модулометра потенційно вище, ніж це вказано у технічному описі, а урахування особливостей проходження сигналу через тракт вимірювача модуляції і залежності метрологічних характеристик від параметрів сигналу дозволяє реалізувати ці можливості.

**Ключові слова:** амплітудна модуляція, частотна модуляція, вимірювач модуляції, девіація частоти, коефіцієнт амплітудної модуляції, коефіцієнт гармонік.

**Вступ.** Амплітудна і кутова (частотна і фазова) модуляція використовується для передачі різноманітної інформації та характеризується рядом параметрів для вимірювання. Існують спеціальні прилади – вимірювачі модуляції.

Серійний модулометр загального застосування за структурною схемою являє собою вимірювальний супергетеродинний приймач і складається з таких основних трактів[1]:

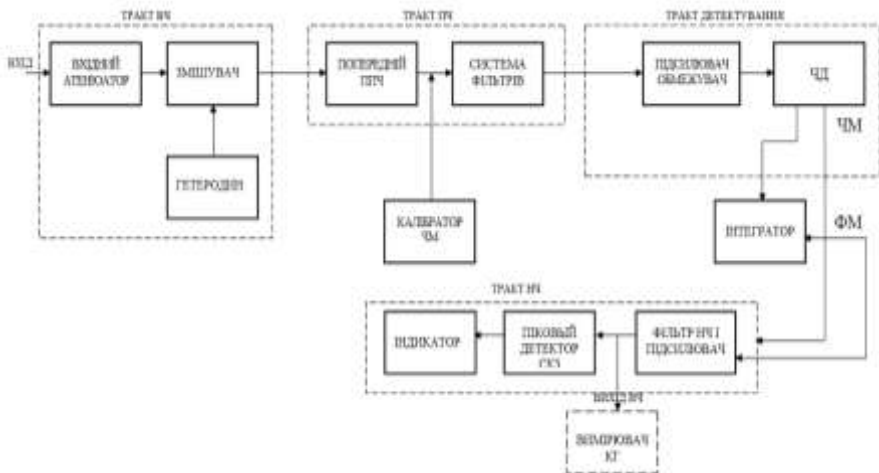


Рис. 1 – Структурна схема вимірювача модуляції.

1) тракт високої частоти в якому відбувається перенесення вхідного високочастотного сигналу на проміжну частоту за допомогою гетеродину;

2) тракт проміжної частоти де відбувається селекція та підсилення сигналу проміжної частоти;

3) тракт детектування, де відбувається виділення низькочастотного (інформаційного) сигналу з модульованого сигналу;

4) тракт низької частоти, в якому продетектований низькочастотний сигнал підсилюється і фільтрується, а його напруга перетворюється в вимірювальний інформаційний параметр (коефіцієнт амплітудної модуляції, девіації частоти або фази, коефіцієнт гармонік).

Модулометр має два основних режими роботи:

1. «АМ» (вимірювання параметрів амплітудної модуляції);

2. «ЧМ/ФМ» (вимірювання параметрів частотної і фазової модуляції).

3 підвищенням вимог до якості передачі інформації і інформаційного продукту суттєво підвищились вимоги до функціональних і метрологічних можливостей модулометрів, аналізу яких присвячена дання стаття.

**1. Функціональні можливості модулометра.** Настанова з експлуатації (технічний опис) модулометра, як правило, не містить докладного переліку всіх вимірювальних можливостей приладу, а також його метрологічних характеристик в різних режимах. Як показує практика, поглиблене вивчення структури модулометра і його нормованих характеристик, а також особливостей проходження модульованих сигналів через тракти і пристрої приладу дозволяють значно розширити коло вимірювальних задач, що можуть бути вирішені за його допомогою, при цьому коректно оцінити його метрологічні характеристики.

Наведемо лише найбільш важливі функціональні можливості модулометра, за реалізації яких можуть бути оцінені похибки вимірювань (в режимах АМ і ЧМ/ФМ).

Режим амплітудної модуляції:

а) Вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції (КАМ) від 0 до 100% в діапазонах модулюючих ( $F$ ) та несучих ( $f$ ) частот (пікових і середньоквадратичних значень (СКЗ));

б) вимірювання паразитної амплітудної модуляції (амплітудного шуму)  $m_{ш}$  в діапазоні несучих частот ( $f$ ) і різних полосах (режим СКЗ);

в) вимірювання спотворень коефіцієнта гармонік амплітудно – модульованого сигналу (на виході низької частоти);

г) вимірювання супутньої амплітудної модуляції сигналу з частотною (фазовою) модуляцією;

д) розширення діапазону несучих частот за рахунок «входу зовнішнього гетеродину».

1.2 Режим частотної модуляції:

а) вимірювання девіації частоти в діапазоні  $F$  і  $f$  (пікових і СКЗ);

б) вимірювання паразитної частотної модуляції і фазової модуляції квазігармонічних сигналів ( $\Delta f_{ш}$  і  $\Delta \varphi_{ш}$ );

в) вимірювання супутньої девіації частоти (фази) амплітудно - модульованого сигналу;

г) вимірювання спотворень коефіцієнта гармонік частотно-модульованих (фазо-модульованих сигналів) і тонкої структури цих спотворень;

д) розширення діапазону (аналогічно режиму амплітудної модуляції).

**2. Оцінка метрологічних можливостей модулометра.** Як поглиблене знання структурної схеми і режимів роботи модулометра дозволяє значно поширити його функціональні можливості, так поглиблене розуміння джерел і характеру похибок і спотворень, що вносяться різними вузлами і трактами модулометра, дозволяють нам більш точно і обґрунтовано оцінити його метрологічні характеристики в різних режимах [1;2].

Проаналізуємо джерела похибок модулометра (табл. 1):

Таблиця 1 – Джерела похибок і спотворень в тракті ВМ

Тракт модулометра	Режим АМ	Режим ЧМ
ВЧ тракт	Амплітудний шум $m_{ш}$ Похибка КАМ	Частотний шум $\Delta f_{ш}$
Тракт ПЧ	Похибка КАМ $\delta(m)$ КГ АМ $(K_r)_{AM}$	Похибка ДЧ $\delta(\Delta f)$ КГ ЧМ $(K_r)_{ЧМ}$
Тракт детектування	Похибка КАМ $\delta(m)$ КГ АМ $(K_r)_{AM}$	Похибка ДЧ $\delta(\Delta f)$ КГ ЧМ $(K_r)_{ЧМ}$
Калібратор	Похибка КАМ $\delta(m)$	Похибка ДЧ $\delta(\Delta f)$
НЧ тракт	Похибка КАМ $\delta(m)$	Похибка ДЧ $\delta(\Delta f)$

Розглянемо їх докладніше:

### 2.1 Тракт високої частоти :

Вносить амплітудний, частотний і фазовий шуми (в залежності від режиму) гетеродина. Внесений шум є адитивною систематичною похибкою вимірювачів КАМ, ДЧ і ДФ, значення якої квазілінійно залежить від частоти  $f$ .

В режимі амплітудної модуляції має місце спотворення закону амплітудної модуляції, що вимагає повірки (калібрування) модулометра у всьому діапазоні несучих частот.

### 2.2 Тракти проміжної частоти і детектування:

Вносять залежні від модулюючої частоти  $F$  лінійні і нелінійні спотворення амплітудної модуляції і частотної модуляції через неідеальність амплітудно-частотних характеристик і нелінійність амплітудних характеристик трактів.

### 2.3 Тракт низької частоти:

Вносить залежні від частоти  $F$  лінійні і нелінійні спотворення огинаючої через неідеальність амплітудно-частотної характеристики і нелінійність амплітудної характеристики.

Полоса низької частоти тракту впливає на рівень шуму, що вноситься трактом модулометра.

2.4 Калібратор. Вносить похибки вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції, девіації частоти і девіації фази, яка залежить від схеми калібратора.

В модулометрах основні метрологічні характеристики (похибки вимірювання КАМ і ДЧ,  $K_r$ ,  $m_{ш}$ ,  $\Delta f_{ш}$ ) позначаються, як правило, за максимальними значеннями. В той же час реальні значення цих характеристик можуть бути суттєво меншими. Так, похибки вимірювання коефіцієнта амплітудної модуляції і девіації частоти носять мультиплікативний характер, коефіцієнт гармонік лінійно залежить від глибини амплітудної і частотної модуляції, а  $m_{ш}$  і  $\Delta f_{ш}$  залежить від частоти  $f$  і смуги тракту низької частоти, яка може регулюватись в широких межах.

Важливою особливістю “шумових” вимірювань сигналу генератора за допомогою модулометра є можливість встановлювати бажану смугу частот, в якій вимірюються шуми (Рис.2).

Завдяки системі фільтрів є можливість встановити в НЧ тракті такі смуги:

0,03 – 200 кГц – відеосмуга (найширша);

0,03 – 20 кГц – звукова смуга;

0,4 – 3,4 кГц – смуга телефонного каналу (найвужча);

0,4 – 20 кГц – звукова (без фонові (сітьові) складові).

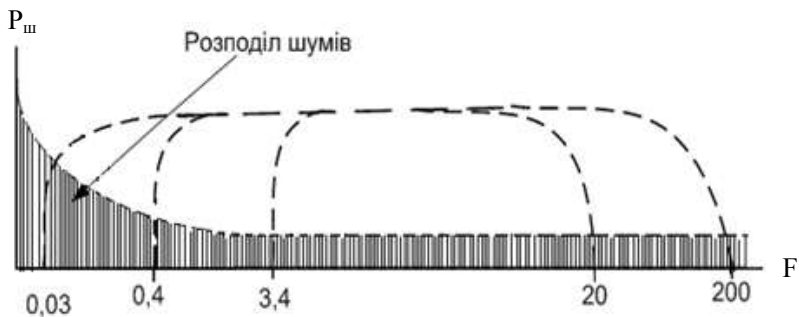


Рис. 2 – Смуги НЧ тракту модулометра

**Висновки.** Таким чином, реальні метрологічні можливості модулометра потенційно вище, ніж це вказано у технічному описі, а урахування особливостей проходження сигналу через тракт модулометра і залежності метрологічних характеристик від параметрів сигналу дозволяє реалізувати ці можливості [3,4].

Крім того метрологічна практика і статистичні дані ННЦ «Інститут метрології» показала, що домінуючими похибками модулометрів є систематичні, які носять достатньо стабільний характер. Це дає можливість вводити поправки при калібруванні модулометрів і тим самим підвищувати їх метрологічний статус.

**Список літератури:** 1. Болмусов Ю.Д. Павленко Ю.Ф Соколовский Н.П. Метрологическое обеспечение измерителей модуляции. – М.: Военное издательство, 1992. – 192с. 2. Зенькович А.В. Искажение частотно-модулированных колебаний. – М.:Сов.радио, 1974. – 296с. 3. Забезпечення єдності радіовимірювань. X., Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ»». За редакцією Павленка Ю.Ф. 2014. – 232с. 4. Павленко Ю.Ф. Шпаныон П.А. Измерение параметров частотно-модулированных колебаний. – М.: «Радио и связь», 1986. – 208с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Bolmusov of U.D. Pavlenko U.F Sokolovsky N.P. Metrologicheskoye providing measuring instruments of modulation. – Moscow: Military publishing house, 1992. – 192p. 2. Zenkovich A.V. Distortion of frequency-modulated fluctuations. – Moscow: Sov. Radio, 1974. – 296p. 3. Ensuring unity of radio measurements. X., Textbook of NTU HPI Publishing house. Under Pavlenko U.F. edition. 2014. – 232p. 4. Pavlenko U.F. Shpanyon P. A. Measurement of parameters of frequency-modulated fluctuations. – Moscow: "Radio and communication", 1986. – 208p.

Надійшла (received) 10.12.2014