

УДК 621.396

Л.Я. Ільницький, д-р техн. наук, проф.,
Л.В. Сібрук, д-р техн. наук, проф.,
З.В. Сугоняк, студ.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИМІРЮВАНЬ ШИРИНИ СМУГИ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Запропоновано структурну схему автоматичного вимірювального пристрою для оцінки ширини займаної смуги частот згідно з визначенням Міжнародного консультативного комітету по радіо. У схемі використовуються два ідентичні фільтри нижніх або верхніх частот і два конвертори частоти. Кола зворотного зв'язку забезпечують автоматичне визначення ширини смуги частот досліджуваного сигналу. Визначено джерела похибок, які пов'язані з характером досліджуваних сигналів (класом випромінювання), з електромагнітною обстановкою та апаратурною реалізацією принципу дії.

Розвиток радіотехнічних інформаційних технологій викликав широке застосування радіотехнічних засобів (РТЗ) в різних сферах життя. Це привело до ущільнення потоків електромагнітної енергії, що використовуються як переносники інформації, і певного вичерпання частотного ресурсу. Для задовільної роботи ліцензованого РТЗ параметри сигналів не можуть вибиратися довільно. Їх величини визначаються електромагнітною обстановкою, що утворюється в тих чи інших частотних смугах. Тому з метою забезпечення електромагнітної сумісності всіх РТЗ, що працюють на будь-яких частотах, їх сигнали мусять задовольняти низку вимог. Одним з дуже важливих параметрів, що впливають на електромагнітну сумісність є ширина смуги випромінювання.

За визначенням Міжнародного консультативного комітету по радіо (МККР), шириною займаної смуги частот є ширина такої смуги частот, за нижньою і верхньою межами якої середні значення потужності випромінювання дорівнюють кожна певному відсотку $\beta/2$ від усієї середньої потужності цього випромінювання. За виключенням спеціальних випадків, що розглядаються в документах МККР, $\beta/2 = 0,5\%$. Наведене визначення ілюструється графіком, зображеним на рис. 1. На обвідній спектра $U(f)$ визначені такі дві частоти f_1 і f_2 , за межами яких середня потужність всіх електромагнітних складових від f'_0 до f_1 і від f_2 до f''_0 дорівнює $\beta/2$ відсотка від середньої потужності всіх спектральних складових у смузі частот від f'_0 до f''_0 .



Рис. 1

Вимірювання займаної смуги частот досить складний процес, оскільки спектр сигналу флюктує, змінюється енергетична щільність, змінюється в часі і сама смуга частот. Крім того, наявність шумів та ненавмисних завад маскують спектральні складові з малими рівнями потужностей. Тому сучасна техніка вимірювання ширини займаної смуги частот має в своєму розпорядженні значний арсенал різних способів. Вони поділяються на прямі та непрямі. Вимірювання ширини займаної смуги частот (ШЗСЧ) за допомогою непрямих способів не має узагальненого характеру і може використовуватися в спеціальних випадках або ж давати орієнтовне значення вимірюваної величини. Точнішими і перспективнішими є прямі методи, які ґрунтуються на застосуванні спектроаналізаторів або фільтрів нижніх чи верхніх частот та пристроїв порівняння потужностей.

Оскільки вимірювання за допомогою спектроаналізаторів вимагає або відносно великого проміжку часу для визначення ШЗСЧ, або ж (при паралельному методі відокремлення спектральних складових) використання складної і громіздкої апаратури, то перспективним є методи вимірювання, що розробляються на основі одного чи двох фільтрів.

Розглянемо структурну схему автоматичного вимірювача смуги частот сигналу з використанням двох ідентичних фільтрів (рис. 2). Сигнал з антени A надходить на вхід перетворювача

частот ПЧ. На другий вхід ПЧ підведена напруга гетеродина Γ_0 . За допомогою перетворювача частоти спектр сигналу без переключень переноситься на проміжну частоту, на якій можна з меншими апаратурними затратами підсилити сигнал підсилювачем П і розділити на рівні за потужністю частини подільником потужності ПП.

З вихідних затискачів подільника сигнали спрямовуються в три канали. Верхній канал складається з детектора D_0 , датчика потужності $ДП_0$, атенюатора АТ. Якщо використовується квадратичний детектор, то датчик потужності не потрібен. У загальному випадку, після детектування сигнал низької частоти надходить у датчик потужності $ДП_0$, де виділяється стала складова, пропорційна потужності сигналу. Проходячи через атенюатор АТ, постійна напруга послаблюється на 23 дБ (до рівня 0,5 %) або на інше значення.

З виходу атенюатора напруга підводиться до порівнювальних схем $ПС_1$ і $ПС_2$, які входять відповідно в канал 1 і канал 2. Друга і третя частини сигналів обробляються в каналі 1 і каналі 2. Канал 1 складається з конвертора K_1 , фільтра Φ_1 , детектора D_1 , датчика потужності $ДП_1$, генератора Γ_1 і схеми керування генератором $СК_1$. Канали ідентичні, тому аналогічний склад каналу 2.

За допомогою конвертора K_1 і генератора Γ_1 спектр сигналу перевертається навколо середньої частоти. Якщо миттєвий спектр сигналу має вигляд, поданий на рис. 3, а, то миттєвий спектр сигналу в каналі 1 набуває вигляду, зображеного на рис. 3, б.

Частота генератора f_1 вибирається більшою за середню частоту спектру f_0 , яка утворюється на виході перетворювача частоти ПЧ (див. рис. 2). Після конвертора K_1 виділяється спектр, складові якого мають частоту нижчу, ніж частота f_1 генератора Γ_1 . Тому спектр конвертується згідно з рівнянням:

$$f_{K_1}^s = f_1 - f_s, \quad s \in N,$$

де індекс s відноситься до s -ї складової спектру.

Отже, в каналі 1 більші значення мають ті складові, які у вихідному сигналі (його природному спектрі) мали найнижчі частоти. Таким чином, нижня гранична частота f_n перетвориться у вищу граничну частоту $f_1 - f_n$, а вища гранична частота f_s – у нижню граничну частоту $f_1 - f_s$.

У каналі 2 спектр зміщується в область більш низьких частот (рис. 3, в) згідно з рівнянням:

$$f_{K_2}^s = f_s - f_2, \quad s \in N, \quad \text{при } f_2 < f_0.$$

Фільтри Φ_1 і Φ_2 мають ідентичні амплітудно-частотні характеристики (див. рис. 2). Це можуть бути фільтри нижніх частот або фільтри верхніх частот. Якщо використовується фільтр нижніх частот, то при ідеальній амплітудно-частотній характеристиці (рис. 4, а) всі складові спектрів каналів 1 і 2, частоти яких нижчі за частоти зрізу f_3 фільтра Φ , надходять на вхід детекторів D_1 і D_2 (див. рис. 2).

Напруга з виходів детекторів перетворюється в датчиках потужності в сигнал, пропорційний загальній потужності всіх спектральних складових, що пройшли крізь фільтри. Отже, на вході кожної порівнювальної схеми приходять сигнали з одного боку $\beta/2$ відсотка потужності від всієї потужності досліджуваного сигналу, а з іншого боку – сигнали, пропорційні потужності відокремлених спектральних складових.

У порівнювальних схемах утворюються сигнали, які можуть використовуватися для керування частотою генераторів Γ_1 і Γ_2 . Коли сигнали на обох входах порівнювальних схем зрівнюються, то будуть задовольняти рівняння:

$$f_3 = f_1 - f_s;$$

$$f_3 = f_n - f_2.$$

Звідси знаходимо ширину смуги випромінювання

$$\Delta f = f_6 - f_n = f_1 - f_2 - 2f_3.$$

Аналогічно працює установка з фільтром верхніх частот (рис. 4, б). Однакові рівні потужностей на входах порівнювальних схем будуть за умови

$$f_3 = f_1 - f_n;$$

$$f_3 = f_6 - f_2.$$

Тому ширина смуги випромінювання визначається за формулою

$$\Delta f = f_6 - f_n = f_2 - f_1 + 2f_3.$$

Як видно з наведених виразів, для оцінки ширини смуги випромінювання необхідно виміряти значення частот генераторів Γ_1 і Γ_2 та виконати певні арифметичні операції. Для цього використовують вимірювально-обчислювальну схему (див. рис. 2), з виходу якої сигнал надходить до пристрою індикації III.

Розглянутий принцип дії вимірювального засобу може вважатися тільки як основа для побудови реального приладу, оскільки прилад з таким обмеженим набором функціональних можливостей не дає вичерпну і точну оцінку ширини смуги випромінювання. Це пов'язане передусім з тим, що спектр сигналу, який переносить певну інформацію, не може бути статичним у часі. Отже, в спектрі відбуваються зміни як у кількості спектральних складових, так і в розподілі густини потужності за частотою. Чим динамічніше змінюється інформація, тим швидшими будуть зміни спектру і ШЗСУ. При об'єкті дослідження, що динамічно змінюється в часі, виникає необхідність отримання низки статистичних характеристик: математичного сподівання ширини смуги випромінювання, його надійного інтервалу при заданому надійному рівні, середньо квадратичного відхилення тощо.

Важливою обставиною є завантаженість діапазону частот, в якому працює джерело досліджуваного сигналу. Якщо спектри інших сигналів не будуть чітко відділятися від спектру досліджуваного сигналу, то це може призвести до істотних похибок. Також збільшуватимуть похибки вимірювання і завади у вигляді шуму. Тому при несприятливій електромагнітній обстановці необхідно застосовувати методи виділення сигналу, який приймається на фоні завад.

Розв'язати порушені проблеми можна, якщо використовувати сучасні засоби обробки сигналів, якщо обчислювальну частину вимірювального приладу зробити розвинутішою – розширити її функціональні можливості.

Суттєвим джерелом похибок вимірювання можуть бути недоліки в характеристиках окремих вузлів приладу. Перетворювач частоти ПЧ з генератором Γ_0 створюють безліч гармонік, зсунутих по частоті складових сигналу. Якщо необхідна ширина смуги частот досліджуваного сигналу невелика, наприклад, клас випромінювання А1А, то, використовуючи підсилювач проміжної частоти П з вузькою смугою пропускання, можна відтворити спектр сигналу, що був створений у передавальному пристрої. Але прилад вимірювання ШЗСЧ не може використовуватися тільки для дослідження сигналів одного класу випромінювання. З цієї точки зору, прилад необхідно створювати якщо не для будь-якого класу випромінювання, то для досить значної групи класів випромінювання. При цьому виникають додаткові джерела похибок, оскільки ШЗСЧ досліджуваних сигналів може змінюватися в широких межах. Наприклад, сигнали телеграфії класу 100НА1ААН займають смугу частот 100 Гц, сигнали телефонії класу 6К00В8ЕJN – приблизно 6 кГц, сигнал радіомовлення класу 180KF3EGN – приблизно 180 кГц, сигнал радіорелейної системи з частотним ущільненням класу 17M0F8EGF – приблизно 17 МГц [1].

Отже, ширина смуги пропускання підсилювача П, вважаючи на існування великої кількості різних класів випромінювання, мусить забезпечувати нормальну передачу спектрів певної групи сигналів. Це значить, що при визначеній амплітудно-частотній характеристиці підсилювача П проходять сигнали з вузьким спектром і сигнали, спектр яких вже може деформуватися підсилювачем. Для вузькосмугових сигналів виникає можливість появи похибок у вимірюван-

нях ШЗСЧ за рахунок попадання до смуги прозорості фільтрів підсилювача сигналів інших джерел. У зв'язку з цим, датчик потужності $ДП_0$ (див. рис. 2) визначить миттєву потужність досліджуваного сигналу з деяким перебільшенням. Якщо спектр сигналу завади знаходиться на певній частотній відстані від спектру досліджуваного сигналу, то можливі похибки ілюструються рис. 5. Спектр завади знаходиться вище по частоті від спектра досліджуваного сигналу. Тому незалежно від того, який буде використовуватися фільтр, гранична частота f'_n буде дещо більшою за істинну частоту f_n , а частота f'_s буде перевищувати граничну частоту f_s . Якщо спектр завади має менші за спектр досліджуваного сигналу частоти, то вимірне значення граничної частоти f''_n буде нижчим за частоту f_n , а вимірне значення частоти f''_s буде меншим за частоту f_s .

Спектр завади може частково перекривати спектр досліджуваного сигналу (рис. 6). Очевидно, що визначення повної миттєвої потужності сигналу верхнім каналом пристрою (див. рис. 2) також відбудеться з похибкою. Значення похибок оцінки граничних частот буде залежати від відношення потужності завади поза смугою частот сигналу $P_{зп}$ до нової потужності завади:

$$r = P_{зп} / P_з.$$

Коли $r = 0$, то весь спектр завади знаходиться в займаній смузі частот. Коли $r = 1$, то завада знаходиться поза спектром сигналу. Розрахунок похибок може виконуватися за відомими спектральними розподілами густини потужності. Але такий розрахунок буде справедливим тільки при стабільних спектрах сигналу і завади. У загальному випадку таку похибку потрібно визначати статистичним методом.

У випадку ширококутового сигналу спектр сигналу майже повністю використовує всю смугу пропускання підсилювача проміжної частоти. Тому дія зосередженої завади буде приблизно такою, як і для вузькосмугового сигналу із завадою, спектр якої накладається на спектр сигналу (рис. 6). Але спектр ширококутового сигналу може розширяться до границь смуги пропускання підсилювача. Тоді виникають специфічні похибки, які визначаються тими спектральними складовими, що не проходять через підсилювач.

Наявність шуму або завади з дуже широким спектром також призводить до похибки у вимірюваннях ШЗСЧ [2]. Ця похибка при випадковому спектрі шуму визначається, як і для випадку, що розглядається на рис. 6. Значення похибки залежить від коефіцієнта r .

Похибка встановлення коефіцієнта атенюації за допомогою AT (див. рис. 2) безпосередньо впливає на визначення граничних частот. Потужність, яка подається з каналів 1 або 2 на порівнювальні схеми, визначається за формулою

$$P_{1(2)} = \int_{f_{01}}^{f_3} U^2(f) df,$$

де f_3 – частота, що дорівнює частоті зрізу фільтра; f_{01} – гранична частота, на якій густина потужності спектру набуває нульове значення; $U^2(f)$ – спектральна густина потужності; f – частота.

Потужність, яка подається з верхнього каналу на вході порівнювальних схем, розраховується аналогічно:

$$P_0 = A \int_{f_{01}}^{f_{02}} U^2(f) df,$$

де A – коефіцієнт атенюації; f_{01} і f_{02} – граничні частоти, які обмежують спектр досліджуваного сигналу і на яких густина потужності дорівнює нулю.

Керуючий сигнал виникає за умови

$$\int_{f_{01}}^{f_3} U^2(f) df = \int_{f_3}^{f_{02}} U^2(f) df = A \int_{f_{01}}^{f_{02}} U^2(f) df.$$

З останнього виразу видно, що похибки у коефіцієнті атенюації призводять до зміни у визначенні частоти f_3 .

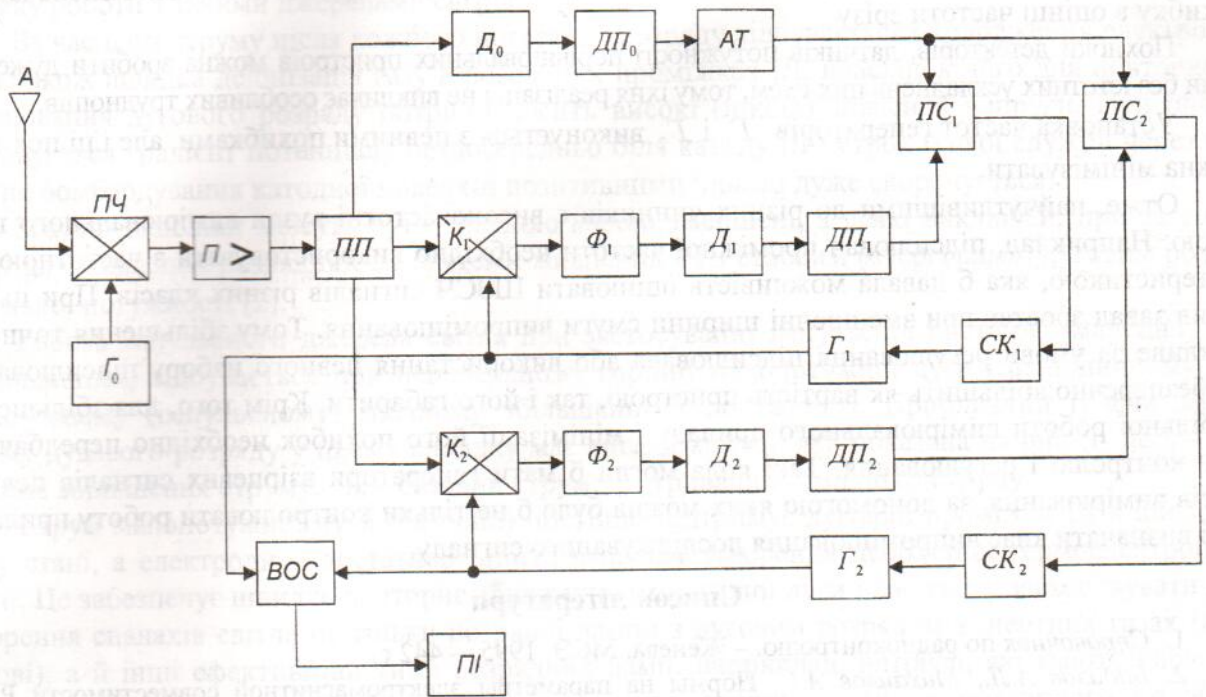


Рис. 2

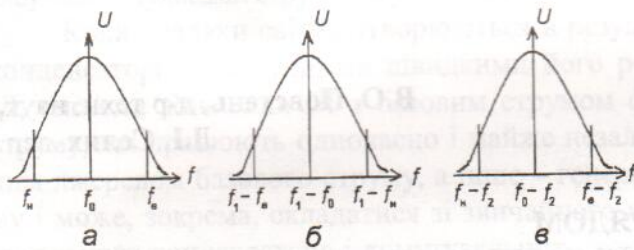


Рис. 3



Рис. 4

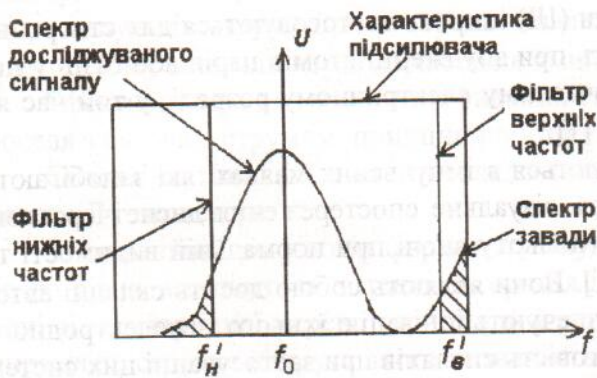


Рис. 5

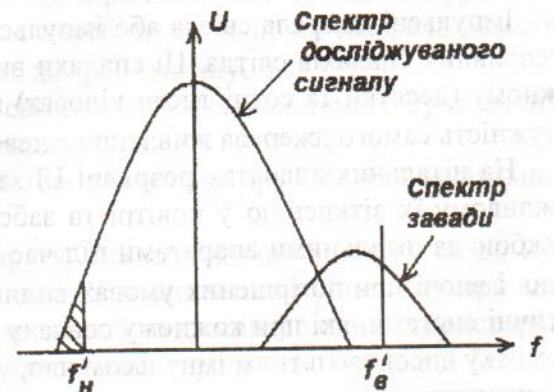


Рис. 6

Джерелом похибки є також і фільтри. Їхні амплітудно-частотні характеристики неідеальні, тому частоти запирання і пропускання рознесені на деяку частотну відстань, яка і визначатиме похибку в оцінці частоти зрізу.

Похибки детекторів, датчиків потужності порівнювальних пристроїв можна зробити дуже малими без істотних ускладнень цих схем, тому їхня реалізація не викликає особливих труднощів.

Установка частот генераторів G_1 і G_2 виконується з певними похибками, але і ці похибки можна мінімізувати.

Отже, найчутливішими до різних чинників є високочастотні вузли вимірювального пристрою. Наприклад, підсилювач проміжної частоти необхідно використовувати з частотною характеристикою, яка б давала можливість оцінювати ШЗСЧ сигналів різних класів. При цьому вплив завад зростає при зменшенні ширини смуги випромінювання. Тому збільшення точності можливе за умови регулювання підсилювача або використання певного набору підсилювачів, що безперечно збільшить як вартість пристрою, так і його габарити. Крім того, для збільшення стабільної роботи вимірювального приладу і мінімізації його похибок необхідно передбачити кола контролю і регулювання. Такі кола могли б мати генератори взірцевих сигналів певних класів вимірювання, за допомогою яких можна було б не тільки контролювати роботу приладу, але і визначати клас випромінювання досліджуваного сигналу.

Список літератури

1. *Справочник по радиоконтролю*. – Женева: МСЭ, 1995. – 442 с.
2. *Бадалов А.Л., Михайлов А.С.* Нормы на параметры электромагнитной совместимости РЭС: Справочник. – М.: Радио и связь, 1990. – 272 с.

Стаття надійшла до редакції 30.03.02.

УДК 628.9 (075.8)

В.О. Повстень, д-р техн. наук,
Л.І. Селих, асп.

ЗАСТОСУВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ СИСТЕМ З НЕПЕРЕРВНИМ МАЛОПОТУЖНИМ РОЗРЯДОМ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДНИХ ЛАМП

Розглянуто систему живлення імпульсних джерел світла, при застосуванні якої потужні спалахи світла створюються за рахунок енергії, накопиченої у магнітному полі дроселя з базовим струмом, і шунтування цього дроселя.

Імпульсні джерела світла або імпульсні лампи (ІЛ) широко застосовуються для створення інтенсивних спалахів світла. Ці спалахи виникають при збудженні атомів парів або газів у потужному (десятки та сотні тисяч кіловат) короткочасному електричному розряді, у той час як потужність самого джерела живлення є невеликою [1].

На літальних апаратах розрядні ІЛ застосовуються в імпульсних маяках, які запобігають можливому їх зіткненню у повітрі та забезпечують візуальне спостереження диспетчерською службою за літальними апаратами під час їхнього польоту вночі при нормальній видимості та вдень і вночі при погіршених умовах видимості [1]. Вони являють собою досить складні автоматичні системи, які при кожному спалаху ІЛ забезпечують іонізацію їхнього міжелектродного проміжку високовольтним імпульсом напруги. Черговість спалахів при застосуванні цих систем забезпечується електричним колом керування з мультівібраторами та тиристорами.

Зазвичай, потужний короткочасний розряд в ІЛ визивають розрядкою через міжелектродний проміжок конденсатора, здатного за дуже короткий час (від 10^{-2} до 10^{-8} с) утворити великий імпульсний струм. У багатьох випадках для утворення потужних спалахів світла конденсатори