

ограничений внедрение структурно-оптимизированной ЗВП в практику представляется целесообразным, поскольку существенно расширяет возможности систем АВЗ по одновременному обеспечению комфортности ВП и повышенного иммунитета к средствам шумоочистки.

IV Выводы

1. ЗВП одной разновидности (речеподобная или шумовая) не позволяет обеспечить одновременно и максимально возможную эффективность защиты речевой информации (с учётом повышенного иммунитета к средствам шумоочистки), и максимально возможную комфортность звучания. Речеподобные ЗВП характеризуются повышенным иммунитетом к средствам шумоочистки, но имеют дискомфортное звучание. «Комфортные» шумовые ЗВП отличаются повышенной комфортностью звучания, но обладают пониженным иммунитетом к средствам шумоочистки.

2. Принцип структурной оптимизации ЗВП состоит в оптимальном выборе количества компонент ЗВП на основе оптимального распределения функций между ними, оптимизации их структуры и параметров, а также композиционных соотношений между компонентами ЗВП и защищаемым речевым сигналом.

3. Структурно оптимизированная ЗВП содержит две компоненты, одна из которых (речеподобная) оптимизирована по максимуму эффективности защиты речевой информации (с учётом повышенного иммунитета к средствам шумоочистки), а вторая компонента (шумовая) – по максимуму комфортности звучания. При этом защитные свойства ЗВП при оптимальном выборе композиционных соотношений определяются речеподобной компонентой, а комфортность звучания – шумовой компонентой.

Литература: 1. Дворянkin С. В., Макаров Ю. К., Хорев А. А., Обоснование критериев эффективности защиты речевой информации от утечки по техническим каналам. // *Защита информации. INSIDE*, №2, 2007, с. 18-25. 2. Болдырев А., Бондаренко В. Ступени эффективности: речеподобная помеха и непрерывный контроль. // *Защита информации. INSIDE*, №2, 2005, с. 40-44. 3. Порошин И., Сигаев А., Непочатых Ю. Обеспечение комфортности выделенных помещений при использовании систем активной виброакустической защиты. // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. – К., вип.(1)12, 2006, с. 100-106. 4. Каргашин В. Л. Защита от утечки речевой информации из помещения: практические аспекты реализации. // *Защита информации. INSIDE*, №2, 2005, с. 45-49. 5. С. В. Григорьев, С. А. Колычев. Оптимизированная по спектру шумовая помеха для акустической (виброакустической) маскировки. // *Защита информации. Конфидент*. 2003, вып. 4, с. 52 – 58. 6. Хорев А. А., Макаров Ю. К. К оценке эффективности защиты акустической (речевой) информации. // *Специальная техника*, №5, 2000, с. 46-56. 7. Гордієвич П., Середяк В. Синтез мовоподібної завади шляхом генерації фону. // XII Международная научно-практическая конференция «Безопасность информации в информационно-телекоммуникационных системах». 19-22 мая 2009, Киев, с. 79. 8. Архипов А., Журавлёв В., Завьялов С. Корреляционный параметр качества маскирования речевых сигналов. // *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. – К., вип. (1)12, 2006, с. 10-16.

УДК 621.372

ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТОКУ ІНФОРМАЦІЇ КАНАЛАМИ ПЕМВН У МЕРЕЖУ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Михайло Прокоф'єв, Василь Стеченко

НДЦ „ТЕЗІС” НТУУ „КПІ”

Анотація: Наведені результати досліджень мережі електроживлення як каналу поширення побічних сигналів, що пов'язані з оброблюваною інформацією в технічних засобах. Вказано шляхи утворення наведень і причини ослаблення рівнів сигналів в проводах мережі електроживлення і заземлення.

Summary: Results on the power supply as a side channel of distribution of signals associated with the processing of information in technical means. The ways of education and the reasons for reducing interference level of signals in the power supply wires and ground.

Ключові слова: Мережа електроживлення, побічні наведення.

Вступ

Проводи електроживлення безпосередньо під'єднуються до основних технічних засобів (ОТЗ), тому побічні сигнали, пов'язані з оброблюваною інформацією, з'являються в них як шляхом прямого проходження через фільтруючі ланцюги блока живлення, так і шляхом наведень електромагнітного поля випромінювання ОТЗ [1, 2]. Два шляхи утворення наведень ускладнюють задачу оцінки захищеності каналу витоку інформації через мережу електроживлення.

Подальше згасання наведеного сигналу в проводах мережі частіше не враховується, що значно спрощує процедуру оцінки захищеності інформації. Такий підхід виправданий для відносно низькочастотних сигналів ПЕМВН, які створювалися ОТЗ виробництва 50 – 70 років минулого століття. В сучасних ОТЗ швидкість передачі даних може перевищувати Гбіт/с, а сигнали на частотах сотні-тисячі МГц не можуть поширюватися проводами мережі електроживлення без значних втрат.

Значне згасання сигналу підтверджують і результати експлуатації спеціальних систем передачі інформації проводами мережі електроживлення, наприклад, системи PLC (powerline communications) [3]. Така система працює в частотному діапазоні 11 – 30 МГц і забезпечує зв'язок на відстані до 100 м. При цьому використовуються сучасні протоколи пакетної передачі даних з розбиттям всього діапазону на окремі частотні канали з постійним аналізом цих каналів і виключенням каналів з гіршим співвідношенням сигнал/завада, завадостійке кодування сигналів і відносно високі рівні сигналів. Сигнали наведень, що утворюються під час роботи ОТЗ, мають значно менший рівень, не кодуються і не розділяються на окремі частотні канали. Тому відстані можливого перехоплення таких сигналів не можуть перевищувати можливості системи, подібної PLC.

Дослідженню мережі електроживлення, як каналу поширення сигналів ПЕМВН на частотах понад 10 МГц, і присвячується дана робота.

Характеристика шляхів утворення наведень в мережі електроживлення

Два шляхи утворення наведень у мережі електроживлення можна вважати незалежними, оскільки їх рівень достатньо малий і можна не враховувати нелінійні процеси. Більше того, ОТЗ, призначені для обробки інформації з обмеженим доступом, під'єднуються до мережі електроживлення через протизавадний фільтр, який додатково ослаблює сигнали, що надходять в мережу безпосередньо від блока живлення.

Для типового протизавадного фільтру з гарантованим рівнем ослаблення 60 дБ і більше можна вважати, що на частотах понад 1 МГц фільтр практично не пропускає сигнали, що надходять від блока живлення. Дійсно, вимоги на електромагнітну сумісність обмежують рівні ВЧ сигналів в проводах електроживлення обчислювальної техніки на рівні 60 дБ/мкВ [4], тому сигнали вищі за 0 дБ/мкВ надходять в мережу електроживлення каналом наведення електромагнітного поля ОТЗ.

Зі зменшенням частоти нижче 100 кГц рівень сигналу, що проходить через фільтр, збільшується, а рівень наведеного сигналу зменшується. Тому для таких частот основним є шлях прямого проходження сигналу в мережу електроживлення з виходу блока живлення ОТЗ.

Висновок щодо можливого розмежування шляхів проходження сигналів в мережу електроживлення для окремих частотних діапазонів суттєво полегшує задачу оцінки захищеності від витоку інформації через наведення в мережу електроживлення.

Оцінка сигналу в діапазоні низьких частот

Оцінку рівня сигналу слід робити на межі контрольованої зони. В діапазоні низьких частот (до 100 кГц) більш гарантовано, хоч і дещо завищено, слід вважати оцінку рівня сигналу безпосередньо на виході протизавадного фільтру.

Відомо, що рівень сигналу залежить і від опору навантаження. Найбільший сигнал буде тоді, коли опір навантаження комплексно спряжений з вихідним опором протизавадного фільтру. Для типових фільтрів для збільшення рівня вихідного сигналу на окремій частоті потрібно включати індуктивність і зменшувати дійсну частину опору навантаження фільтру. Додаткова котушка індуктивності разом з вихідною ємністю фільтру створює контур, який дозволяє одержувати за рахунок резонансу збільшення рівня сигналу на потрібній частоті.

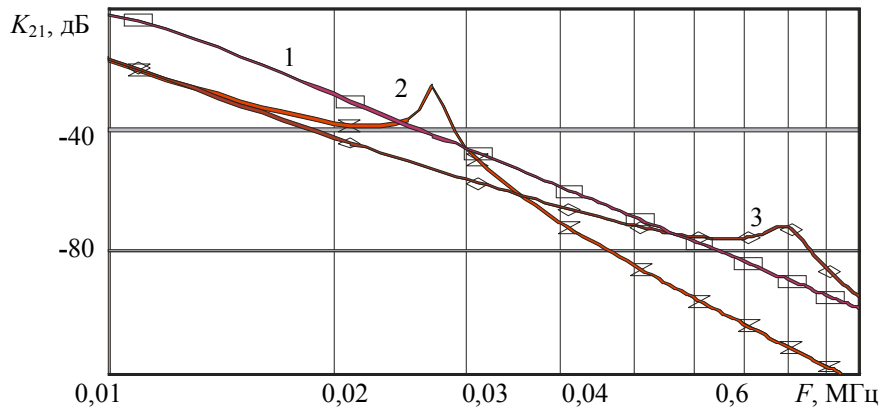


Рисунок 1 – Амплітудно-частотна характеристика типового фільтра при опорі навантаження 50 Ом (1) та 1 Ом з додатковими котушками індуктивності 20 мкГ (2) та 2 мкГ (3).

Результати моделювання типового LC фільтра (рис. 1) показують, що завдяки резонансу збільшення рівня сигналу може досягати 15 дБ порівняно з рівнем сигналу на опорі навантаження 50 Ом. Висновок щодо можливості збільшення рівня вихідного сигналу підтверджують і результати вимірювань амплітудно-частотної характеристики протизавадного мережного фільтру ФЗП-125-1 для несиметричних (синфазних) сигналів, що наведені на рис. 2. Режим несиметричних сигналів створювався шляхом з'єднання двох проводів входу і двох проводів виходу фільтру. Опір навантаження 2,3 Ом забезпечувався за рахунок додаткового трансформатора з відношенням числа витків 6 : 28.

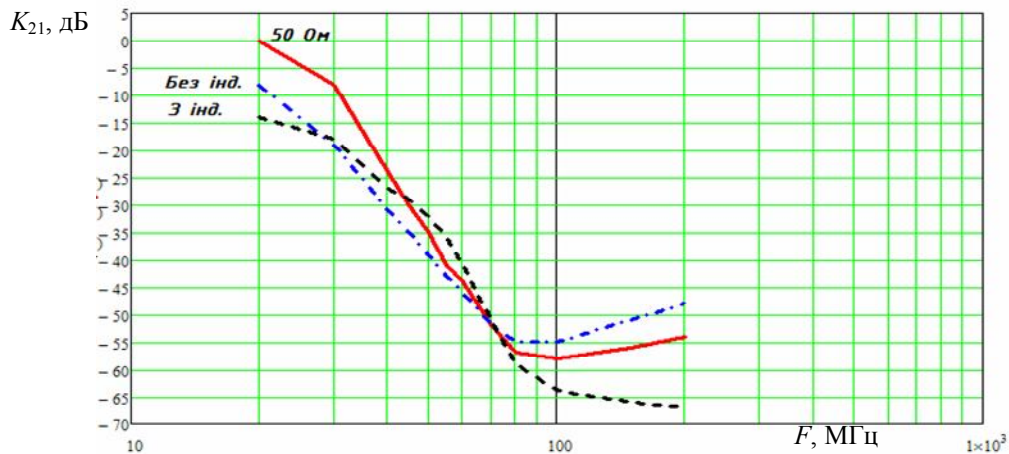


Рисунок 2 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра ФЗП-125-1 для несиметричних струмів (об'єднувались два проводи на вході фільтра і два проводи на виході) і різних опорів навантажень: опори 50 Ом, 2,3 Ом з послідовно під'єднаною котушкою індуктивності 45 мкГ і опір 2,3 Ом, де як котушка використовувався мережний кабель ПВС 3х2,5 з довжиною 2,6 м

Вимірювання рівнів сигналів в мережі живлення з одночасним підбором комплексного опору навантаження є достатньо складною технічною задачею. Як вихід пропонується на низьких частотах

вимірювати рівень сигналу на відносно великому опорі навантаження з використанням еквівалентів мережі, а результати вимірювань збільшувати на коефіцієнт, який враховує можливе резонансне збільшення коефіцієнта передачі фільтра. Значення додаткового коефіцієнта знаходиться в межах 0–15 дБ. Моделювання ідеальних фільтрів показало, що з похибкою $\pm(1-2)$ дБ значення додаткового коефіцієнта залишається постійним при зміні частоти резонансу в межах однієї декади.

Особливості поширення сигналів на високих частотах

Для частот понад 1 МГц мережа електроживлення є антеною, на яку наводяться сигнали, що випромінюються ОТЗ. Розподілена антена частіше утворена трьома проводами (фаза, нуль та захисний провід) [1, 2]. У застарілих будівлях мережа електроживлення може складатися з двох проводів (фаза та нуль). Тоді для заземлення ОТЗ може прокладатися окрема лінія з одного проводу, зворотнім проводом якої є земля. Враховуючи практично однакову віддаленість усіх проводів мережі від джерела випромінювання, наведення в усіх проводах мережі будуть мати однакову електрорушійну силу. Назвемо сумарним струмом наведеного сигналу суму струмів багатопроводової лінії. Цей струм поширюється в лінії, зворотним проводом якої є поверхня землі або різні металеві комунікації, конструкції будівлі.

Характеристика мережі електроживлення для сумарного струму буде наближатися до властивостей однопроводової лінії, наприклад, окремої лінії заземлення. Прямий і зворотний проводи такої лінії віддалені на значну відстань. Тому така лінія є ефективною антеною, яка одночасно приймає і випромінює сигнал наведень. Рівень електромагнітного поля внаслідок випромінювання зі збільшенням відстані від джерела згасає, тому біля ОТЗ оточуюче електромагнітне поле наводить струм в лінії, а далі - наведений струм компенсує згасання поля. Випромінювання є основною причиною високого рівня згасання сигналу в однопроводовій лінії. Така лінія подібна антені біжучої хвилі [5], яка ефективно випромінює або приймає сигнали в широкому діапазоні частот за умови, що її довжина сумірна з довжиною хвилі сигналу.

На рис. 3 наведені результати вимірювання струму однопроводової лінії на початку лінії та на відстані 5 і 10 м від джерела сигналу – генератора Г4-176. Лінія була прокладена на бетонній підлозі приміщення.

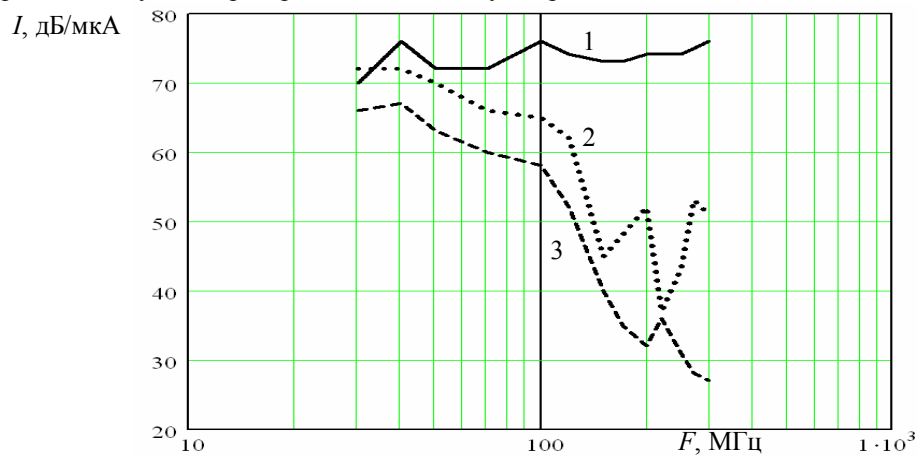


Рисунок 3 – Частотна залежність струму однопроводової лінії (в дБ/мкА) довжиною 20 м на відстані 0,2 м (1), 5 м (2) та 10 м (3) від початку лінії

Згасання сигналу в лінії перевищує 10 дБ на кожне десятиразове зростання відношення довжини лінії до довжини хвилі сигналу.

Високий опір і значні втрати сигналу роблять марним реалізацію в будівлі системи заземлення для сигналів високих частот. Це підтверджують і результати вимірювань, що наведені на рис. 4. Струм в лінії, яка використовувалася як протитік штирьової випромінюючої антени, практично не змінювався, коли другий кінець залишався ненавантаженим (1), або був з'єднаний з проводом системи заземлення будівлі.

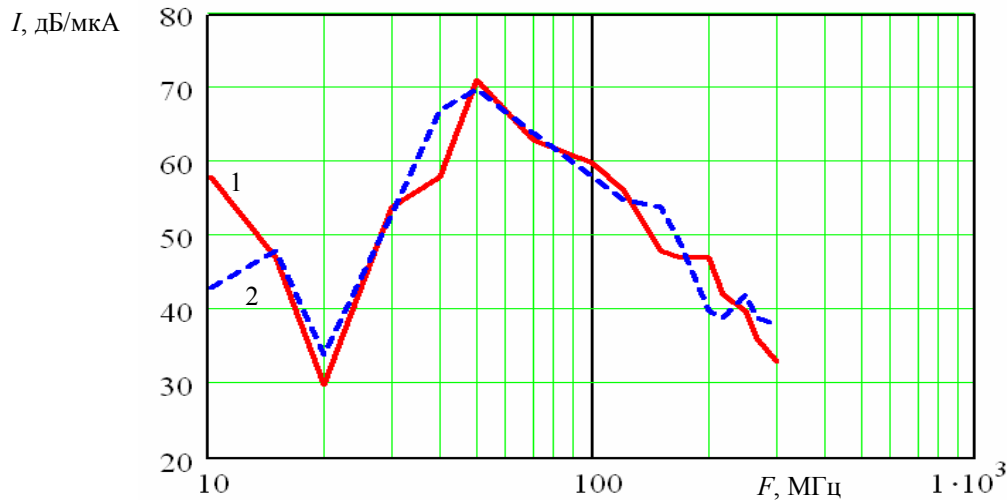


Рисунок 4 – Частотна залежність наведеного струму лінії на відстані 5 м від джерела випромінювання: 1 – кінець лінії залишався відкритим, 2 – під'єднувалася до шини заземлення будівлі

В мережі електроживлення, що складається з двох однакових проводів, струм кожного проводу можна виразити через їх сумарний і симетричний струми. Симетричний струм протікає між фазним і нульовим проводами мережі електроживлення, які проходять паралельно на малій відстані один від одного. Тому рівень випромінювання такого струму на порядки менший ніж сумарного струму. Одночасно і зовнішнє електромагнітне поле наводить симетричний струм в проводах мережі значно меншого рівня.

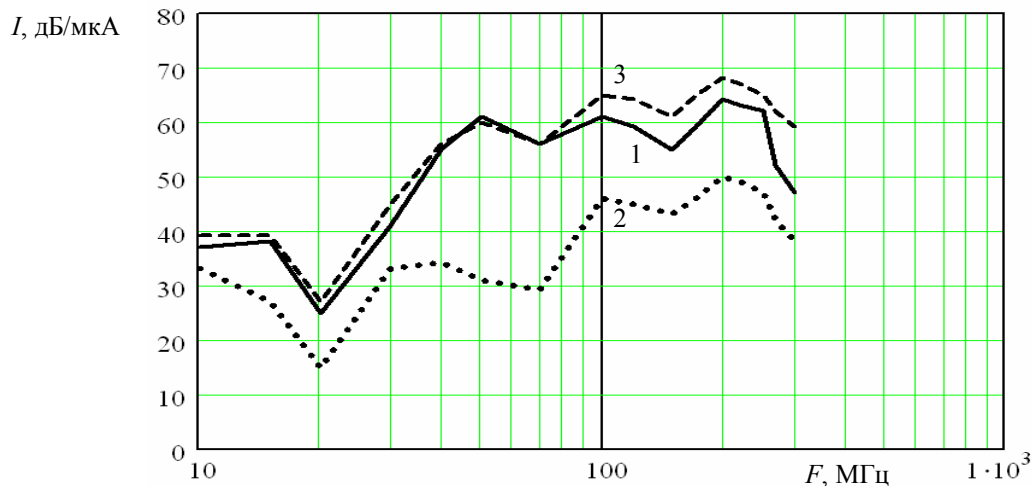


Рисунок 5 – Частотна залежність наведеного струму в двопроводовій лінії на початку лінії: 1 – сумарний струм двох проводів лінії; 2 – симетричний струм; 3 – симетричний струм при від'єднанні одного проводу лінії від противаги випромінювальної антени

Менший рівень симетричного струму (2) порівняно з сумарним (1) підтверджують і результати вимірювань, що наведені на рис. 5. В лінії довжиною 20 м обидва проводи одним кінцем були під'єднані до противаги штирьової випромінювальної антени, а проводи іншого кінця лінії були з'єднані між собою через опір 100 Ом, близький до хвильового опору лінії для симетричного сигналу. Від'єднання одного проводу від противаги антени (залежність 3) порушує симетрію навантаження проводів лінії, наслідком чого є трансформація сумарного струму в симетричний і збільшення рівня симетричного сигналу в лінії.

Симетричний струм у двопроводовій лінії, якою є мережний кабель, поширюється з відносно малим рівнем згасання (до 1дБ/м на частотах від 10–30 до 300 МГц), але для реальних мереж електроживлення рівень ослаблення сигналів перевищує 40 дБ на відстанях до 100 м вже на частотах 10 – 30 МГц [4]. Високий рівень згасання симетричного сигналу пояснюється впливом відбиття хвилі, що утворюється від

багатьох відгалужень (відводів) деревоподібної за структурою мережі. При цьому характер поширення хвиль в лінії наближається до режиму стоячих хвиль.

Оцінку впливу відгалужень на рівень згасання симетричного сигналу розглянемо на прикладі лінії з одним відгалуженням (рис. 6). Досліджувана лінія навантажена на опір, що дорівнює хвильовому, тому лінія має тільки одне джерело відбитої хвилі – це відгалуження з комплексним опором навантаження Z . Коефіцієнт відбиття від лінії-відгалуження в точках a і b визначається формулою

$$\Gamma = e^{-2j\omega\tau} (1 - \rho/Z) / (1 + \rho/Z)$$

де $\tau = \sqrt{\epsilon} l_i / c$ – час поширення сигналу в відгалуженні, l_i – його довжина.

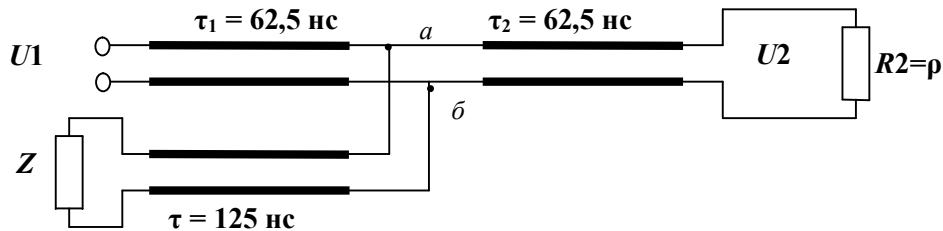


Рисунок 6 – Схема досліджуваної лінії з одним відгалуженням; час поширення $\tau = 125$ нс відповідає довжині лінії 10 м

Результати розрахунків амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) досліджуваної лінії показані на рис. 7 для чотирьох значень опору навантаження: 1) $Z = \infty$ (відрізок лінії без навантаження), 2) $Z = 0$ Ом, 3) $Z = 3\rho$, 4) $Z = \rho$ (узгоджене навантаження, ρ – хвильовий опір лінії мережі електроживлення).

Відбиття сигналу у відгалуженні приводить до значної частотної нерівномірності АЧХ, характер зміни якої визначається періодом $F_{\Pi} = 1/\tau$, де τ – час поширення сигналу в відгалуженні. У разі існування стоячої хвилі в відгалуженні створюються глибокі провали в АЧХ. Ширина цих провалів за рівнем $K_f < 0,3$ дорівнює $\Delta f_{\min} = 0,1/\tau$.

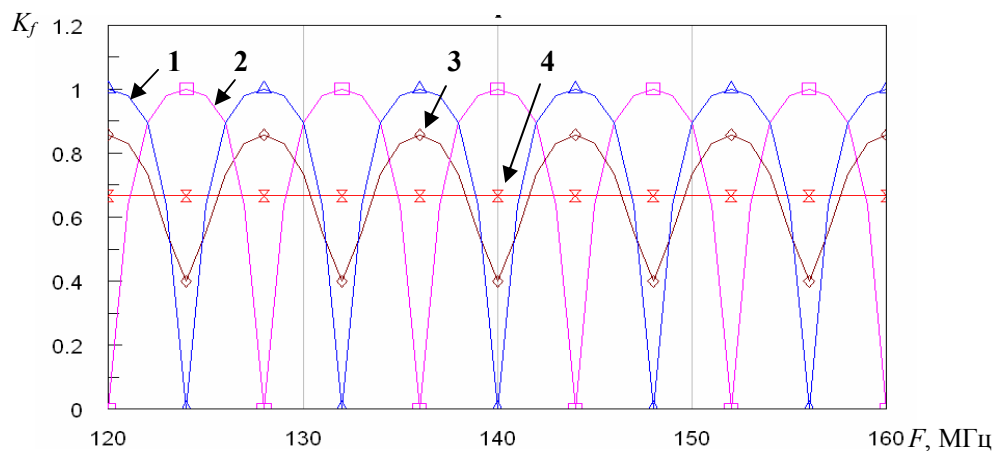


Рисунок 7 – Амплітудно-частотна характеристика схеми, що наведена на рис. 6

Під'єднання або вимкнення з мережі окремих пристроїв змінює еквівалентну довжину відгалужень і приводить до зміщення частот провалів в АЧХ. Наслідком цього є залежність рівня сигналу від стану мережі електроживлення і неможливість коректного визначення рівня ослаблення сигналу в мережі електроживлення на конкретній частоті. В першу чергу це стосується вимірювань наведень від ЗОТ, що працюють у спеціально створених тестових режимах, спектр сигналів яких при цих режимах має лінійчатую структуру.

Вплив нерівномірності АЧХ і залежності цієї нерівномірності від стану мережі електроживлення значно зменшується у разі визначення рівня сигналу з широким спектром $\Delta F_c \gg 1/\tau$. Потужність такого сигналу визначається сумою усіх складових в смузі ΔF_c і зміна ослаблення окремих частин спектра

сигналу майже не впливає на його середнє значення у смузі шириною ΔF_c . Для типових відгалужень довжиною 2 м умова $\Delta F_c > 3/\tau$ виконується для сигналів з $\Delta F_c > 120$ МГц.

Визначити середній рівень сигналу з широким спектром можна тільки шляхом вимірювання його рівня на багатьох частотах у смузі ΔF_c . Кількість частотних точок визначається під час проведення вимірювань. Спочатку визначається рівень ослаблення на середній частоті спектру сигналу, далі на середніх частотах двох половин спектру і так далі, поки кількість точок вимірювань перестає суттєво впливати на результати обчислень середнього значення K_f^2 в смузі ΔF_c .

В трипроводовій мережі електроживлення струм кожного проводу можна виразити через сумарний струм, симетричний струм нульового і фазного проводу і несиметричні (однаково направлені) струми цих же проводів. Для несиметричних струмів зворотнім проводом є третій захисний провід мережі електроживлення. Відстань між усіма трьома проводами мережі майже однакова і властивості лінії з трьох проводів для симетричних і несиметричних сигналів мало відрізняються, але це не стосується рівнів наведень.

До мережі електроживлення під'єднуються і пристрої, електроживлення яких здійснюється за допомогою тільки двох проводів. Двопроводовий кабель таких пристроїв є додатковою антеною для несиметричного сигналу. Численні вимірювання рівня наведень від генераторів просторового зашумлення показали, що рівень наведень несиметричного сигналу в трипроводовій мережі електроживлення на 10–15 дБ перевищує рівень наведень симетричного сигналу.

Аналіз результатів дослідження

Оцінку захищеності від витоку інформативних сигналів в лінію мережі електроживлення на частотах до 1 МГц доцільно робити з застосуванням еквівалента мережі безпосередньо на виході фільтра. Відносно високий вхідний опір еквівалента мережі унеможливорює резонанс на виході протишкідливого фільтра і таким чином резонансні явища не можуть істотно впливати на результати вимірювань. Значення додаткового коефіцієнту, що враховує можливість оптимального (узгодженого) навантаження мережі електроживлення засобом технічної розвідки, не може перевищувати 15 дБ.

На частотах понад 1 МГц сигнали в проводах мережі електроживлення з'являються шляхом наведень поля випромінювання ОТЗ. У разі застосування для захисту ОТЗ пристрою просторового зашумлення висновок щодо захищеності поля випромінювання можна розширити і на наведення в лінію мережі електроживлення. Вимірювання рівня електромагнітного поля тестового сигналу і активної завади слід проводити в найближчих місцях проходження проводів мережі електроживлення, не враховуючи ділянку між технічним засобом і протишкідливим фільтром.

Можливість оцінки захищеності по полю крім зручності вимірювань дозволяє ще уникнути казусів, які виникають внаслідок обмеженої чутливості засобів вимірювальної техніки і впливу додаткових втрат в пристроях під'єднання високочастотного входу вимірювача напруги до мережі електроживлення. У разі не виявлення тестового сигналу в мережі (рівень шуму перевищує рівень сигналу) доводиться збільшувати значення сигналу до рівня шуму. Це приводить до збільшення відношення сигнал/завада, за яким оцінюється захищеність каналу витоку інформації і можливі випадки, коли збільшене значення не відповідає вимогам норми.

Грунтуючись на вищенаведених результатах досліджень для сучасних ОТЗ доцільно переглянути загальний підхід до ліній як каналу ефективного поширення наведених сигналів. Врахування реального згасання сигналу в лінії мережі електроживлення, наприклад, методом реальних зон, хоч і збільшить трудомісткість вимірювань, але дозволить більш коректно робити оцінку захищеності такого каналу витоку інформації.

Література: 1. Василий Стеченко, Виктор Найдено, Михаил Прокофьев, Андрей Курашкевич. Анализ защиты компьютера от утечки по цепям питания и заземления // Научно-технический сборник „Правовое, нормативное та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні”, вип. 10, Київ, 2005 р //с. 160-165. 2. Прокофьев М. И., Стеченко В. М. Особенности оценки уровня наведенных побочных электромагнитных излучений в сети электропитания// Специальная техника у правоохоронній діяльності. Матеріали 1У Міжнародної науково-практичної конференції (Україна, Київ, 26-27 листопада 2009 року)// с.195-196. 3. Моррис П. Реализация технологии PLC. Сети и системы связи, 2005 г., № 12, С. 79-81. 4. ГОСТ Р 51318.22-99 Радиопомехи промышленные от оборудования информационных технологий. Нормы и методы испытаний. 5. Айзенберг Г. А. и др. Коротковолновые антенны. – М. Радио и связь, 1985 г.