

Мацуї А.М.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кондратець В.О.

Центральноукраїнський національний технічний університет

РАДІОКАНАЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ З ОБЕРТОВИХ ЧАСТИН АГРЕГАТІВ НА НЕРУХОМІ

Обґрунтовано структуру радіоканалу для передачі інформації з обертових частин агрегатів на нерухомі. Радіоканал включає автогенератор, амплітудний модулятор, підсилювач потужності, передавальну антену, приймальну антену, вхідний ланцюг, підсилювач високої частоти, підсилювач проміжної частоти, діодний детектор, підсилювач низької частоти та кінцевий пристрій. У процесі багатокритеріальної оптимізації доведено, що всі функціональні вузли радіоканалу можуть якісно пропускати сигнали. Детектору таких властивостей надати не вдалося. Це є вадою радіоканалу. Однак під час випробування підтверджено, що він якісно пропускає гармонічні сигнали частотою від 50 до 250 Гц. Амплітудні, частотні показники і форма сигналів передаються через радіоканал з достатньою точністю.

***Ключові слова:** радіоканал, обертові частини, нерухомі частини, точність, викривлення сигналів.*

Постановка проблеми. Основною продукцією металургійної галузі України є концентрат, отриманий із бідних залізних руд. Унаслідок перевищення електроенергії та матеріалів в процесах подрібнення руди в кульових млинах, особливо в перших стадіях, собівартість концентрату вища порівняно із закордонними аналогами, що знижує конкурентоспроможність продукції чорної металургії на світовому ринку. Одним із важливих напрямків зниження собівартості магнетитових концентратів є автоматизація процесів подрібнення руди в кульових млинах, зокрема, в перших стадіях, яка стримується відсутністю достатньо точних і надійних засобів передачі інформації з обертових частин агрегатів на нерухомі. Дана стаття пов'язана з розв'язанням цієї задачі і виконанням досліджень за темою «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942), яка входить до плану наукової тематики Центральноукраїнського національного технічного університету. Тому її тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У практиці гірничо-збагачувальної галузі давно використовуються акустичні і вібраційні канали передачі інформації, однак вони вузькоспеціалізовані і можуть передавати лише сигнали, які

виникають безпосередньо при роботі агрегатів. Оптичні канали є більш уніфікованими, можуть передавати сигнали, які формуються окремими перетворювачами, однак не отримали розповсюдження на обертових об'єктах в наслідок того, що інформація передається лише по прямій, заважає тремтіння променя та інші фактори. У роботі [1] М.М. Іващенко відмічає перспективність радіотехнічних систем для використання в якості засобів зв'язку з промисловими об'єктами. Для дальнього зв'язку використовують звичайні радіотехнічні системи [2; 3]. Прикладом використання радіотехнічної системи для передачі інформації з обертової частини агрегату на нерухому є пристрій [4], який пройшов перевірку у виробничих умовах. У безпроводних технологіях, описаних в [5], використовується радіоканал, але тут описані лише дослідження і самому радіоканалу увага практично не приділяється. В авторському свідоцтві [6] також вказується лише те, що передавач встановлено на обертової частині, а приймач – на нерухомій. Усі розглянуті засоби працюють на різних частотах, їх структура і особливості не враховувалися. Тому неможливо стверджувати достовірність переданої інформації. Більш широке використання радіоканалів для передачі інформації в промислових умовах потребує обґрунтування їх струк-

тури, особливостей окремих функціональних вузлів та оптимізації засобу в цілому.

Постановка завдання. Метою публікації є обґрунтування структури, особливостей окремих вузлів та функціональна оптимізація радіоканалу в цілому з забезпеченням необхідної точності передачі сигналів.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи особливості умов і обертових агрегатів, радіоканал доцільно будувати відповідно блок-схемі, розглянутій в [7]. Дія вимірювального середовища сприймається перетворювачем технологічного параметра, який формує сигнал, що змінює режим модулятора, який у підсилювачі потужності формує сигнал високочастотних коливань автогенератора. Підсилювач забезпечує потужність, яка антеною перетворюється у радіохвилю, що долає простір і надходить на антену, а потім на вхідний ланцюг приймача. Підсилений високочастотним підсилювачем сигнал демодулюється детектором і подається на вхід підсилювача низької частоти, на виході якого формується вихідна величина, що відповідає технологічному параметру.

Аналіз показує, що радіоканал повинен пропускати сигнали, які являють собою гармонічну півхвилю, та гармонічні процеси, частота яких знаходиться в межах від 50 до 250 Гц. Переважно частоти знаходяться в межах 50...80 Гц, інколи – в зовсім вузькому діапазоні 63,7...66,9 Гц. Тривалість півхвиль коливань здебільшого складає 7,5 мс. Як відомо, передавання сигналів у цій смузі частот у радіотехніці є достатньо складною задачею.

Основною вимогою до радіоканалу є точність передачі інформації. Створення радіоканалу для таких умов є багатоваріантною задачею, для розв'язання якої не існує готових рішень.

Аналіз показує, що радіоканал можливо подати як багатостадійний функціональний процес, тому для його оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування. Оптимізація буде статичною. При цьому задача оптимізації вирішується на кожній стадії – функціональному вузлі радіоканалу одним з методів, а загальний критерій оптимізації описується адитивною функцією критеріїв оптимальності окремих стадій. Оскільки загальний критерій оптимальності радіоканалу дорівнює сумі частинних критеріїв оптимальності, то в кожному вузлі, який являє собою стадію процесу, необхідно забезпечити найкраще значення обраного показника. Управляючими діями при оптимізації пристрою виступають різновиди технічних рішень функціональних

вузлів. Аналіз показує, що дана задача є багато-критеріальною. Такі задачі розв'язують кількома підходами. Розповсюдженим, але не зовсім ефективним, є метод складання функції від усіх показників і розгляд її як одного «узагальненого» показника, за яким і оптимізується розв'язання. Розповсюдженим також є спосіб складання «узагальненого показника ефективності», який являє собою «зважену суму» частинних показників, в якій кожен з них входить з певною «вагою», що відображає його важливість. Більш ефективними є методи виділення паретовських розв'язків, перетворення показників в обмеження та метод послідовних поступлень. Аналіз показав, що для розв'язання даної задачі найбільш доцільно застосувати метод перетворення показників в обмеження. В якості критеріїв оптимальності тут можливо розглядати точність передачі інформації J_T , розуміючи під цим амплітуду, частоту і форму сигналу, мінімальні значення викривлень корисного сигналу J_B , максимальну простоту J_{Π} і мінімальну споживану потужність $J_{СП}$. Головним показником тут є J_T і йому треба надати максимум, на інші J_B , J_{Π} і $J_{СП}$ необхідно накласти деякі обмеження, щоб вони були не більшими певного значення. Якщо достатня точність перетворення сигналу досягається, то частинний критерій J_{Ti} в даній стадії дорівнює 1. Якщо це відбувається в усіх стадіях, то результируючий критерій $J_T = \sum_{i=1}^n J_{Ti}$. Результируючий критерій повинен дорівнювати $J_T \rightarrow \max = n$.

У процесі реалізації радіоканалу перш за все необхідно розв'язати питання з видом модуляції. Враховуючи особливості всіх видів модуляції і те, що радіоканал у даних умовах повинен бути порівняно простим, добре використовувати частотний діапазон унаслідок великої кількості близько розташованих обертових агрегатів, а також те, що передавачі використовуються занадто малої потужності, коливання модулюються в основному короткими сигналами, доцільно прийняти амплітудну модуляцію.

Слід мати на увазі, що під час амплітудної модуляції ширина спектра коливань, яку враховують при виборі смуги пропускання підсилювальних каскадів як в кінцевих ступенях передавача, так і в приймачі, для невикривленого підсилення коливань повинно бути не менше двох максимальних значень частоти модулюючого сигналу [8].

Амплітудну модуляцію можливо здійснити двосмуговою або односмуговою. Під час односмугової модуляції використання транзисторів за потужністю покращується у кілька разів порівняно з передачею повного спектра амплітудно-

модульованих коливань. Крім того, односмугова передача дозволяє звузити спектр частот, що передаються, більш ніж вдвоє. Це розвантажує ефір і дозволяє звузити пропускання приймача, що підвищує його чутливість. Однак односмугова амплітудна модуляція має і недоліки. До них необхідно віднести складність забезпечення точності рівності частоти передавача і частоти гетеродина, який відтворює коливання несучої частоти в точці прийому. Крім цього, схема радіопередавального пристрою, що працює за принципом односмугової передачі, значно складніша звичайних схем [8]. Зважаючи на сказане, під час реалізації радіоканалу необхідно прийняти двосмугову амплітудну модуляцію.

Амплітудна модуляція як процес перенесення спектра низькочастотного керуючого сигналу в область високих частот радіосигналу є лінійним процесом. У результаті модуляції амплітуда високочастотних коливань повинна змінюватися пропорційно напрузі корисного (змістовного) сигналу в бік збільшення або зменшення від деякого середнього значення. Оскільки під час амплітудної модуляції в спектрі коливань виникають нові частоти, відмінні від частот несучого і модуляційного коливань, як наслідок, амплітудна модуляція є нелінійним процесом. Це пов'язано з тим, що статичні модуляційні характеристики мають нелінійний характер. У зв'язку із цим під час амплітудної модуляції в передавачах можливо спостерігати три види викривлень: частотні, нелінійні та фазові. Фазові викривлення практично не відчуються.

Частотні викривлення полягають у нерівномірному підсиленні різних складових спектра модуляційних коливань і з'являються, коли опір навантаження підсилювача або елементів, що зв'язані з нею, залежать від частоти. Тому порушуються співвідношення амплітуд складових сигналу. Джерела частотних викривлень в передавачі можуть знаходитися як у модуляторі, так і в модульованому підсилювачі потужності високої частоти. Одним із джерел частотних викривлень є резонансні властивості контурів, що слугують навантаженням вихідного каскаду підсилювача, зокрема це нерівномірність резонансної кривої контура підсилювача в межах смуги пропускання. Ще одним джерелом частотних викривлень є резонансні явища в фільтрах джерел живлення, які містять ємності та індуктивності і володіють деякою власною частотою.

Зменшення частотних викривлень, що виникають у модуляторі і модульованому підсилювачі

потужності високої частоти, в навантажувальному контурі вихідного підсилювача досягають за рахунок збільшення затухання антенного контура. Для боротьби із частотними викривленнями, що зв'язані з резонансними явищами в фільтрах джерел живлення, величини індуктивностей і ємностей фільтрів необхідно вибирати такими, щоб їх власні резонансні частоти лежали нижче самої низької частоти модуляції.

Нелінійні викривлення під час амплітудної модуляції мають значно більше значення ніж частотні. Вони викликані нелінійністю статичної модуляційної характеристики, можуть складати значну величину. Напрями впливу на зменшення похибок від нелінійності статичної модуляційної характеристики вже відпрацьовані в радіотехнічній галузі. Перш за все, в амплітудно-модульованих генераторах на транзисторах необхідно приймати ретельні заходи температурної стабілізації параметрів транзистора як шляхом використання кремнієвих елементів, різних схемних рішень, так і покращенням теплового режиму. Для зниження негативного впливу змін еквівалентних провідностей транзистора на частоту і режим генератора доцільно застосовувати неповне ввімкнення контура. Позбавитись впливу модульованого каскаду на режим і частоту задавального генератора (автогенератора) у багатокаскадних транзисторних передавачах модуляцію слід здійснювати в одному з останніх або в кінцевому каскаді передавача. Для забезпечення найбільш якісної передачі інформаційного сигналу необхідно використати комбіновану колекторну модуляцію. При такій модуляції низькочастотний сигнал потрапляє не лише на колектор транзистора вихідного каскаду, але і на попередні підсилювачі. При цьому у вихідному каскаді здійснюється подвійна амплітудна модуляція – колекторна і базова. У випадку подвійної колекторної модуляції для кожного з модульованих каскадів необхідно знайти оптимальне значення коефіцієнта глибини модуляції, тобто його значення у вихідному та передвихідному каскадах. Глибина модуляції в останньому каскаді звичайно знаходиться на рівні 50%. При правильному виборі режиму модуляції нелінійні викривлення будуть невеликими. Практика показує, що в радіоапаратурі коефіцієнт нелінійних спотворень можна довести до 1%. У випадку радіоканалу, що розробляється, цю задачу розв'язати дещо легше.

Таким чином, розглянутий модулятор забезпечує необхідну точність передачі корисного сигналу, що відповідає $J_{TI}=1$. Він забезпечує міні-

мальні значення викривлень корисного сигналу, максимальну простоту (інші підходи модуляції складніші), мінімальну споживану потужність, що задовольняє обмеженням на J_B , J_{Π} і $J_{СП}$. Те ж саме відноситься і до підсилювача потужності генератора, де $J_{T2}=1$ і задовольняються обмеження до J_B , J_{Π} і $J_{СП}$.

Автогенератор є базовим елементом радіоканалу. Він в основному визначає стабільність частоти і амплітуди коливань. Сучасні транзисторні автогенератори можна подати у вигляді приладного ряду з 16 основних типів засобів [9]. Складність найбільш простого (базового) автогенератора порівняно невелика і дорівнює восьми умовним одиницям. Підвищення точності автогенераторів до середини ряду здійснюється порівняно просто додавкою одного-трьох умовних елементів. Починаючи із сьомого типу приладу, пристрої дуже ускладнюються. Найбільш стабільний автогенератор в 12 разів складніший базового. Тобто висока стабільність досягається значними витратами. Встановлено, що в процесі структурного удосконалення як частотна, так і амплітудна стабільність транзисторних автогенераторів покращується [10]. З незначним удосконаленням пристроїв частотна стабільність швидко зростає з початку приладного ряду, доходячи до першого кварцового автогенератора. Потім підвищення стабільності досягається значними витратами. Достатню точність забезпечує автогенератор п'ятого або шостого типу, які доцільно використовувати в радіоканалі.

Важливим параметром в радіоканалі виступає частота високочастотних коливань. Імпульс, що відповідає першій напівхвилі корисного сигналу, показано на рис.1. Тривалість такого сигналу складає близько 7,5 мс. Його початковий момент є випадковою величиною. Випадковою величиною є і вершина гармонічного високочастотного сигналу. Найбільш точно під час амплітудної модуляції буде передана амплітуда імпульсу у випадку, коли його вершина і вершина гармонічного високочастотного сигналу співпадають (рис. 1, а). Неспівпадіння вершини імпульсу і високочастотного сигналу буде приводити до похибки у визначенні амплітуди (рис. 1, б). Найбільше значення похибки буде при найбільшому періоді високочастотних гармонічних коливань. Зменшення періоду високочастотних гармонічних коливань буде зменшувати найбільше значення цієї похибки. Воно буде найменшим і достатньо невеликим, яким можливо знехтувати, при достатньо високих частотах несучих коливань. Зважаючи на те,

що дана похибка може виникати як при модулюванні, так і при зворотній дії – детектуванні, то доцільно розглянути ці обидві ситуації. Більш вузьким місцем є детектування, оскільки тут діє проміжна частота, яка значно нижча від несучої. При детектуванні імпульсних сигналів необхідно, щоб у кожному імпульсі розташовувалося 10...20 періодів коливання проміжної частоти [8]. Враховуючи, що найменша тривалість напівхвилі корисного сигналу складає 7,5 мс, проміжну частоту можливо прийняти 6,5 МГц. При цьому в один імпульс корисного сигналу вкладається більше 2400 повних періодів коливань проміжної частоти, що забезпечить достатньо точно його детектування. Несуча частота може бути значно вищою проміжної. На радіосигнали значний вплив здійснюють перешкоди від грозових розрядів, які називають атмосферними. Вони займають широкий спектр частот від найменшої основної частоти до достатньо високих. Амплітуда цих перешкод поступово зменшується при зростанні частоти практично аж до 50 МГц [11]. Оскільки до 50 МГц на радіоканал можуть впливати атмосферні перешкоди, доцільно несучі частоти приймати дещо більшими цього значення. Оскільки потужність передавача тут зовсім мала, а його оточують масивні металеві агрегати, розташовані здебільшого в кілька поверхів в корпусах з металевих конструкцій, то в радіоканалах можливо використовувати будь-які частоти, не розглядаючи дозволених. Враховуючи, що в транзисторних автогенераторах на високих частотах виникає нестабільність частоти в наслідок значної різниці між власною частотою контуру і автогенератора [12], діапазон частот не слід сильно розширювати. У випадку необхідності розширення діапазону використовуваних частот можливе, однак при

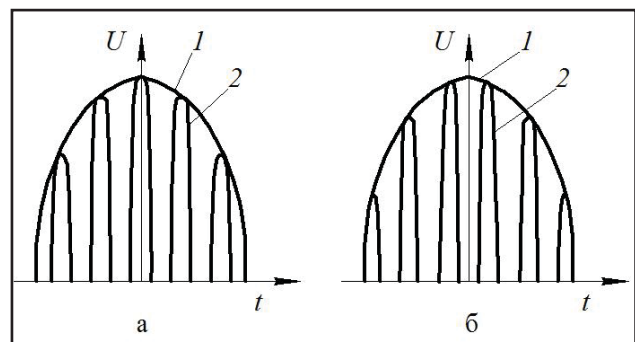


Рис. 1. Взаємне розташування імпульсу корисного сигналу і гармонічного високочастотного сигналу як випадкових величин в момент співпадіння вершин (а), неспівпадіння на певну величину (б): 1 – імпульс, що відповідає корисній інформації; 2 – гармонічний високочастотний сигнал

цьому виникне необхідність встановлення балансу фаз, що звичайно досягають автоматичним регулюванням з використанням варикапів [13].

Отже, автогенератори п'ятого або шостого типу задовольняють умовам радіоканалу. Вони прості навіть при частотах більших 50 МГц. При проміжній частоті 6,5 МГц не допускають викривлень імпульсних або випадкових сигналів, споживають малу потужність, тим більше, що за даних умов вона повинна бути зовсім незначною. Тому тут виконуються умови накладених обмежень, а частинний критерій оптимальності $J_{T3}=1$.

Амплітудно-модульовані високочастотні коливання випромінюються в простір антеною передавача. Антена приймача сприймає частину енергії цих коливань. В залежності від частотного діапазону розроблено теорію і ряд типів антен [14]. Фізичні основи явищ, що відбуваються в антенах, детально викладені в [15]. Для діапазону коротких і ультракоротких хвиль існує ряд типів антен. Здебільшого в цих діапазонах в якості антени використовують симетричний вібратор [15]. Враховуючи умови передачі сигналу, приймемо в якості як передавальної, так і приймальної антени симетричний вібратор. Враховуючи, що ці антени є найбільш простими, не викривляють сигнали і виконують свої функції, їм відповідають критерії оптимальності $J_{T4}=J_{T5}=1$ і вони задовольняють висунутим обмеженням.

Радіоприймальний пристрій призначений для прийому будь-яких сигналів, що поступають до нього у вигляді радіохвилі. Він включає приймальну антену, приймач та кінцевий пристрій. Приймальна антена дістає з навколишнього простору дуже незначну частину енергії радіохвиль, що проходять, включаючи і свій радіопередавач, і направляє її до радіоприймача. У приймачі здійснюється виокремлення корисних коливань і перетворення їх до такого виду, який необхідний для роботи кінцевого пристрою. За допомогою кінцевого пристрою відновлюється, ресструється або іншим способом використовується прийнята інформація. Інформація на вході приймача розміщена в модульованих коливаннях високої частоти. Саме з них необхідно виділити корисний сигнал. Для забезпечення необхідної точності в радіоканалі необхідно використати супергетеродинний приймач з його повною схемою, яка включає вхідний ланцюг, підсилювач високої частоти, перетворювач частоти, що складається зі змішувача частот та гетеродина, підсилювач проміжної частоти, детектор, підсилювач низької частоти, кінцевий пристрій.

У радіоприймачі спотворення можуть виникати практично у будь-якому вузлі. Вхідний ланцюг слугує перехідною ланкою від приймальної антени до входу першого підсилювального каскаду. Вона забезпечує узгодження хвильового опору антенного фідера з вхідним опором приймача. Цим досягають можливо більше перевищення напруги корисного сигналу над рівнем перешкод і шумів. Вхідний ланцюг виконується просто, завжди реалізує свої функції без викривлень, практично не втрачає енергії. Тому його частинний критерій оптимальності $J_{T6}=1$ і він задовольняє всім сформульованим обмеженням.

У підсилювачах високої та проміжної частоти легко позбавитись від спотворень можливо вибором режиму роботи транзисторних каскадів. Ці підсилювачі реалізуються за типовими схемами, не викривлюють сигнали, достатньо прості, не споживають багато енергії, тому задовольняють обмеженням, а їх частинні критерії оптимальності будуть дорівнювати $J_{T7}=J_{T8}=1$.

Найбільш проблематичним вузлом у радіоприймачі є амплітудний детектор, оскільки детектування – процес суцільно нелінійний [16]. Не дивлячись на це, при детектуванні форма напруги на навантаженні детектора повинна відповідати формі обвідної напруги, що детектується. Враховуючи відомі переваги, в радіоканалі детектування слід здійснювати на напівпровідниковому діоді. Якщо в такому детекторі амплітуда вхідної напруги достатньо велика і складає кілька вольт, то він працює практично в лінійному режимі. У лінійному режимі результати детектування практично не залежать від форми характеристики діода і визначаються лише крутизою її прямолінійної ділянки та зворотним опором діода. Тому при детектуванні великих сигналів характеристики діода зображають в ідеалізованому вигляді – прямою. Внаслідок того, що крутизна прямої характеристики значно більша оберненої, при детектуванні великих сигналів коефіцієнт передачі детектора складає від 0,5 до 0,8. Він не залежить від амплітуди сигналу, що детектується. Нелінійні спотворення в діодному детекторі відсутні, якщо найменші значення амплітуди високочастотної модульованої вхідної напруги перевищують 2...3 В [8]. Оскільки зворотний опір напівпровідникового діода залежить від температури, то і параметри детектора залежать від неї. Ця залежність дуже помітна в квадратичному детекторі і мало відчутна при детектуванні сильних сигналів. Тому в радіоканалі доцільно забезпечувати велике підсилення сигналу проміжної

частоти і детектування здійснювати при значних напругах на напівпровідникових діодах.

Для більш точного відтворення окремих імпульсів в корисному сигналі проміжна частота повинна складати 10...60 МГц, дуже часто вона дорівнює 30 МГц. У даному радіоканалі з великим запасом достатньо 6,5 МГц. Однак інформаційний сигнал, який виділяють в діодному детекторі, може викривлятися ще з інших причин. Викривлення сигналу можуть бути нелінійними і частотними. Основна причина нелінійних спотворень полягає в інерційності детектора. При цьому обвідна напруги, що детектується, може відтворюватися не точно. Це відбувається тому, що напруга під час розряду конденсатора змінюється повільніше, ніж зменшується амплітуда вхідної напруги. Напруга на навантаженні детектора не встигає змінюватися за змінами амплітуди високочастотного коливання. У такій ситуації амплітуда імпульсу може не відповідати дійсному значенню, особливо на початковій його ділянці. Аналітично встановлено [8], що такі спотворення відсутні, коли постійна часу навантаження детектора відповідає нерівності

$$C_H R_H < \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi F_B m}, \quad (1)$$

де m – коефіцієнт глибини модуляції детектованої напруги, що показує, на яку частину від свого середнього значення змінюється амплітуда високочастотного коливання в процесі модуляції; F_B – вища частота інформаційного сигналу, тобто, вища частота модуляції; R_H – опір в навантаженні детектора; C_H – ємність, що шунтує опір навантаження.

Нелінійні спотворення інформаційного сигналу можуть виникнути і за причиною значної різниці у величині навантаження для постійного струму діода і для його змінної складової корисного сигналу. Це особливо може бути відчутним, коли за детектором встановлено транзисторний підсилювальний каскад. Послабити такі викривлення вдається застосуванням роздільного навантаження, яке складається з двох резисторів (рис. 2) [8]. У даній схемі опір постійному струму діода $R_{II} = R_{II} = R_1 + R_2$, а змінному струму корисного сигналу

$$R_{зк} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_{BH}}{R_2 + R_{BH}}, \quad (2)$$

де R_{BH} – вхідний опір наступного каскаду.

При значній величині опору R_1 різниця між R_{II} і $R_{зк}$ виходить малою. Нелінійні викривлення будуть найменшими, якщо [8]

$$R_2 = R_{BH} \frac{1-m}{m}. \quad (3)$$

Частотні викривлення визначаються модуляційним сигналом. У підсилювачах змінного струму звичайно спостерігається «завал» низьких частот, що приводить до їх різного підсилення. Зважаючи, що діапазон зміни частоти корисного сигналу якраз відповідає цій ділянці характеристики, підсилення сигналу буде залежати від частоти, тобто буде вноситись певне спотворення, яке можливо згладити коректуючим пристроєм в підсилювачі первинного перетворювача. Як видно з розглянутого, діодний детектор вимагає збільшення напруги, що ускладнює схему, і не компенсує повністю можливі спотворення. Тому його частинний критерій J_{T9} не можна оцінити на рівні одиниці, оскільки сигнал буде дещо спотвореним.

Підсилювач низької частоти, якщо він буде змінного струму, буде мати такі ж вади в наслідок «завалу» низьких частот. Тому підсилювач низької частоти доцільно виконати операційним. Він фактично є підсилювачем постійного струму, однак добре пропускає частоти, які відповідають корисному сигналу. Такий підсилювач відповідає пред'явленим обмеженням, а його частинний критерій дорівнює $J_{T10} = 1$.

Кінцевий пристрій радіоканалу виконує прості функції – він фіксує кінцевий результат. Такі операції можливо реалізувати достатньо точно, тому його критерій оптимальності $J_{T11} = 1$ і вимоги обмежень повністю задовольняються.

Отже, результуючий критерій оптимальності радіоканалу $J_T \rightarrow \max$ складає $J_T = n - 1 = 10$, що дещо менше найбільшого значення $n = 11$. Однак це достатньо високий його рівень, що підтверджує високоякісні характеристики створеного радіоканалу.

Розроблений радіоканал з обґрунтованими характеристиками функціональних вузлів, з частотою 50 МГц і проміжною частиною 6,5 МГц випробувався в лабораторних умовах. Для випро-

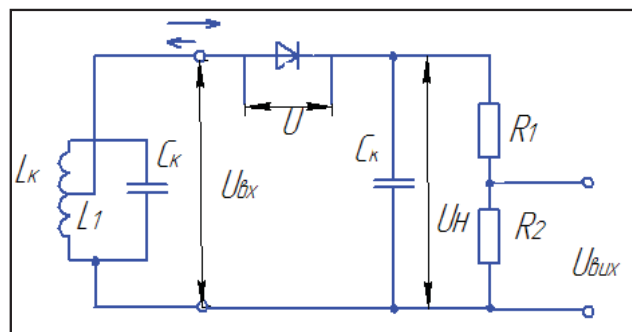


Рис. 2. Схема діодного детектора з розділеним навантаженням

бування з арматури було виготовлено обід діаметром 4 м з радіальними розпірками, через центр якого проходив вал, встановлений в підшипниках на опорах. В експериментах вал обертався з допомогою двигуна з редуктором зі швидкістю 16,5 об/хв.. На ободі встановлювався симетричний вібратор і радіопередавач, які оберталися разом з ним. Крім того, на ободі встановлювався підсилювач сигналу первинного перетворювача, генератор фіксованої частоти 50 Гц і 250 Гц та акумулятор для живлення апаратури електроенергією. Замість первинного перетворювача використано генератор двох фіксованих частот з фіксованою амплітудою. У кожному експерименті встановлювалася частота 50 та 250 Гц. Такий же симетричний вібратор (приймальна антена) встановлювався на відстані 1 м від обода в зоні «зняття»

радіосигналу. При цьому радіоприймач вмикався в роботу в ручному режимі. Вихідний сигнал підсилювача, що подається на модулятор, через кільцеві контакти, встановлені на валу, фіксувався на персональному комп'ютері. На персональному комп'ютері, який виконував функції кінцевого пристрою, фіксувався вихідний сигнал операційного підсилювача. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 50 Гц приведені на рис. 3. З рис. 3 слідує, що реалізації гармонічних сигналів практично співпадають між собою. Достатньо якісно передається як форма, так і амплітуда корисного сигналу. Тривалості сигналів також однакові і відповідають періоду вхідного сигналу. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 250 Гц приведені на рис. 4, з якого слідує, що вони ідентичні синусоїдам, зображеним на рис. 3.

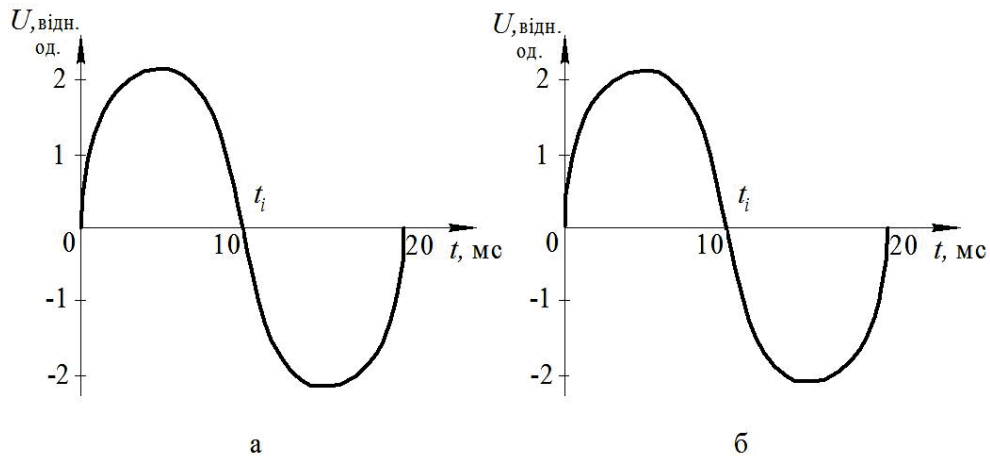


Рис. 3. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 50 Гц:
а – на виході підсилювача сигналу первинного перетворювача;
б – на виході кінцевого пристрою

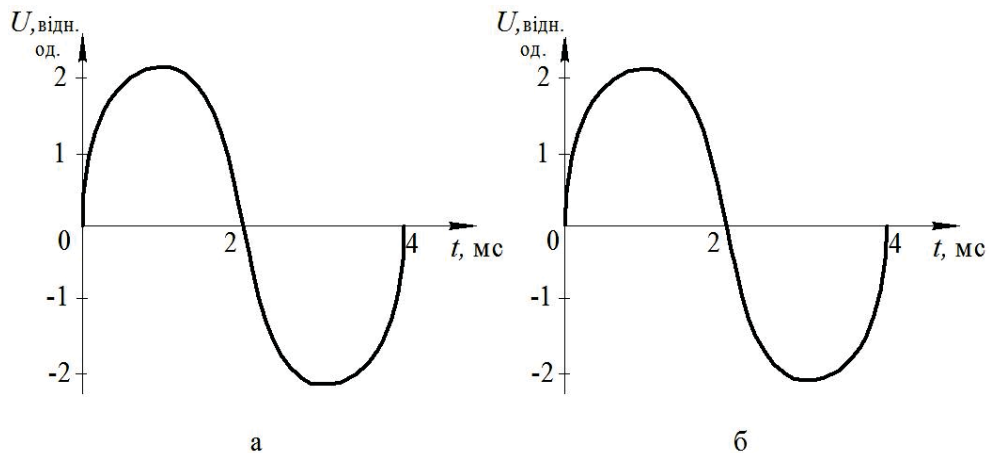


Рис. 4. Реалізації гармонічних сигналів при частоті 250 Гц:
а – на виході підсилювача сигналу первинного перетворювача;
б – на виході кінцевого пристрою

Отже, сигнали на вході і виході радіоканалу практично повністю співпадають між собою в діапазоні від 50 до 250 Гц.

Висновки. Таким чином, удосконалено радіоканал для передачі інформації з обертових частин технологічних агрегатів на нерухомі, який практично не спотворює форму і амплітуду гармонічних сигналів. При оптимізації радіоканалу методом динамічного програмування до уваги прийнято одинадцять стадій згідно його функціональним вузлам. Розглядалася багато-критеріальна задача, в якій головним критерієм вважалася точність передачі інформації окремим функціональним вузлам з оцінкою $J_{Ti}=1$, якщо вона була доведена. Інші три критерії – мінімальні значення викривлень корисного сигналу, максимальна простота, мінімальна споживана потужність – розглядалися як обмеження, що не повинні перевищувати значення певних мінімальних величин, які можливо досягти в конкретних ситуаціях роботи апаратури. У про-

цесі оптимізації з конкретними рекомендаціями досягнуті найвищі результати для десяти функціональних вузлів. Один функціональний вузол – детектор – не можливо було довести до стану останніх і його частинний критерій оптимальності J_{T10} склав нуль. Він виконував свої функції щодо забезпечення точності перетворення корисного сигналу, але певні вади повністю ліквідувати не вдалося. Тому результируючий критерій оптимальності радіоканалу склав $J_T=10$ замість можливого значення $J_{Tmax}=11$. Удосконалений радіоканал може мати проміжну частоту 6,5 МГц, а несучі частоти від 50 МГц і вище. Перевірка роботи радіоканалу підтвердила достатньо високу точність передачі низькочастотних гармонічних сигналів в межах зміни частотного діапазону від 50 до 250 Гц.

Перспективою подальших досліджень у цьому напрямі є розробка інформаційних засобів для автоматичного керування процесами в технологічних агрегатах з обертовими частинами.

Список літератури:

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Москва, 1962. 628 с.
2. Аксенов В.В., Павлов В.И. Помехоустойчивость радиоканала связи с удаленными стационарными объектами. Вестник ТГТУ. 2011. Том 17. № 4. С. 922–926.
3. Ягубов З.Х., Голубев Е.Б., Соловей К.Н. Помехоустойчивый канал передачи телеметрической информации в нефтяной шахте. Нефть и газ. 1997. № 3. С. 104–106.
4. Гринман И.Г., Сакбаев Ж.М., Жотабаев Ж.Р. Измерение степени загрузки мельниц рудой с помощью телеизмерительного датчика. Обогащение руд. 1969. № 1. С. 27–29.
5. Пожарский Ю.М., Полещенко Д.А., Подковыров И.Ю. Определение степени заполнения мельницы мокрого самоизмельчения с применением беспроводных технологий. ГИАБ. 2013. № 3. С. 249–254.
6. А.с. 1755922 А1 (СССР): МКИ В 02 С 25/00. № 4797606/33; заявл. 01.03.90; опубл. 23.08.92, Бюл. № 31.
7. Кондратець В.О., Кирилук М.О. Комп'ютерно-інтегрований комплекс подрібнення руди з передачею технологічної інформації з обертових об'єктів. Академічний вісник. 2004. № 13. С. 117–118.
8. Левичев В.Г. Радиопередающие и радиоприемные устройства. Москва, 1974. 510 с.
9. Кондратець В.О. Дослідження транзисторних автогенераторів як коливальних систем, що складнішають. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2001. № 8. С. 102–108.
10. Кондратець В.О. Теоретичні дослідження стабільності транзисторних автогенераторів в процесі структурного удосконалення. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2001. № 31. С. 81–84.
11. Основы радио и электроники / Эверитт В.Л., Гай Р.Ф., Джордан Э.К. и др.; под ред. В.Л. Эверитта; пер. с англ. Н.А. Собецкого. Москва, 1962. 804 с.
12. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах. Проектирование и расчет / Баржин В.Я., Бокк Ю.Ф., Валитов Р.А. и др.; под ред. В.А. Валитова и И.А. Попова. Москва, 1973. 464 с.
13. Радиопередающие устройства. Проектирование радиоэлектронной аппаратуры на интегральных микросхемах / Балакирев М.В., Вохмоков С.С., Журиков А.В. и др.; под ред. О.А. Челнокова. Москва, 1982. 256 с.
14. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. Москва, 1975. 528 с.
15. Калашников А.М., Степук Я.В. Колебательные системы. Москва, 1972. 376 с.
16. Нефедов Е.И. Радиоэлектроника наших дней. Москва, 1986. 192 с.

РАДИОКАНАЛ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ С ВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЕЙ АГРЕГАТОВ НА НЕПОДВИЖНЫЕ

Обоснована структура радиоканала для передачи информации с вращающихся частей агрегатов на неподвижные. Радиоканал включает автогенератор, амплитудный модулятор, усилитель мощности, передающую антенну, приемную антенну, входную цепь, усилитель высокой частоты, усилитель промежуточной частоты, диодный детектор, усилитель низкой частоты и оконечное устройство. В процессе многокритериальной оптимизации доказано, что все функциональные узлы радиоканала могут качественно пропускать сигналы. Детектору таких свойств обеспечить не удалось. Это является недостатком радиоканала. Однако при проверке подтверждено, что он качественно пропускает гармонические сигналы частотой от 50 до 250 Гц. Амплитудные, частотные показатели и форма сигналов передаются через радиоканал с достаточной точностью.

Ключевые слова: радиоканал, вращающиеся части, неподвижные части, точность, искажение сигналов.

RADIO CHANNEL FOR INFORMATION TRANSMISSION FROM ROTATING PARTS OF UNITS TO FIXED

The structure of a radio channel for transferring information from rotating parts of aggregates to stationary ones is substantiated. The radio channel includes an autogenerator, an amplitude modulator, a power amplifier, a transmit antenna, a receiving antenna, an input circuit, a high frequency amplifier, an intermediate frequency amplifier, a diode detector, a low frequency amplifier, and a terminal device. In the process of multicriteria optimization it is proved that all the functional nodes of the radio channel can pass signals qualitatively. The detector was not able to provide such properties. This is a disadvantage of the radio channel. However, during the verification it is confirmed that it qualitatively passes harmonic signals with frequency from 50 to 250 Hz. The amplitude, frequency, and waveforms of the signals are transmitted through the radio channel with sufficient accuracy.

Key words: radio channel, rotating parts, fixed parts, accuracy, distortion of signals.