

Демонстрація ефекту Доплера

Звук – це хвильовий процес. У твердих тілах звук поширюється у вигляді поздовжніх і поперечних хвиль. Оскільки рідини й газу практично не мають пружності зсуву, то в таких середовищах звук поширюється тільки у вигляді поздовжніх хвиль. У газах і рідинах звукові хвилі є періодичними згущеннями й розрідженнями середовища, що віддаляються від джерела звуку з певною характерною для цього середовища швидкістю. Звук характеризується інтенсивністю (силою) та складом і частотою пов'язаних з ним хвильових процесів. За суб'єктивним відчуттям розрізняють такі характеристики звуку: гучність, тембр (окраска звуку) і висоту (тобто частоту звуку). Звуковими коливаннями (звуком) називають коливання, що поширюються в пружному середовищі й частота яких лежить у межах 16...20000 Гц. Пружні хвилі частотою, меншою ніж 16 Гц, називають інфразвуковими, а більшою від 20000 Гц – ультразвуковими.

Швидкість поширення звуку в повітрі при кімнатній температурі дорівнює 334 м/с. У воді звук поширюється зі швидкістю 1450 м/с, у склі – 5600 м/с.

Ефект Дóплера — явище зміни частоти хвилі, яку реєструє приймач, викликане переміщенням джерела або приймача.

Ефект названий на честь австрійського фізика Крістіана Доплера.

Виходячи з власних спостережень за хвилями на воді, Доплер припустив, що подібні явища відбуваються в повітрі з іншими хвилями. На підставі хвильової теорії він у 1842 році вивів, що наближення джерела світла до спостерігача збільшує спостережувану частоту, віддалення зменшує її. Доплер теоретично обґрунтував залежність частоти звукових і світлових коливань, що сприймаються спостерігачем, від швидкості і напрямку руху джерела хвиль і спостерігача відносно один одного.

Розглянемо явище Доплера для звуку.

Ефект Доплера – це явище зміни частоти коливань у хвилі, яке сприймається спостерігачем у випадках руху джерела хвилі, самого приймача або їх одночасного відносного руху. У роботі буде досліджуватися зміна частоти коливань у звуковій хвилі під час руху самого джерела хвилі.

Припустимо, що джерело хвилі рухається зі швидкістю $v_{дж}$ в напрямку від спостерігача. Враховуючи, що швидкість поширення звуку в середовищі весь час залишається сталою, кількість пучностей поздовжньої звукової хвилі, які досягнуть нерухомого приймача за одиницю часу, буде меншою - порівняно з їхньою кількістю, коли джерело нерухоме. Тобто спостерігач фіксуватиме зменшення частоти звукової хвилі. Детальний математичний аналіз дає такий вираз для розрахунку частоти звуку в цьому випадку:

$$v_{теор} = v_0 \frac{c}{c+v_{дж}} \quad (1),$$

де $v_{теор}$ – частота, що фіксується спостерігачем, v_0 – частота, що випромінюється джерелом, c – швидкість поширення звуку.

У разі, якщо джерело звуку приближається до спостерігача, вираз набуває вигляду:

$$v_{\text{теор}} = v_0 \frac{c}{c - v_{\text{дж}}} \quad (2),$$

тобто частота збільшується.

Швидкість поширення звукової хвилі в повітрі становить за нормальних умов 334 м/с.

Зазвичай приводять приклади з гудком залізничного тепловоза, проте краще виготовити джерело звукових коливань і з ним проводити експерименти. Таким чином для дослідів було виготовлено джерело звукових коливань (опис і принципову електричну схему джерела звукових коливань приведено в кінці статті) яке генерує частоту близьку до 400 Гц і чутно звук на відстані 25 м. Приймачем звукових хвиль може бути вухо людини. Слід зауважити, що зміну частоти звукових коливань краще сприймають люди з музикальним слухом; проте, як показує експеримент цього дослідіу – люди без музикального слуху також відчують зміну частоти.

Для дослідіу взято металеву трубу довжиною 1,9 м, з внутрішнім діаметром 25 мм і зовнішнім 26 мм – маса такої труби становить 350 г. В кінці труби прикріплено телефонний капсуль диференціальної системи типу «TESLA» - маса телефонного капсуля становить 29 г. В трубу (початок труби) вставлена «начинка» - схема генератора звукових коливань (маса 26 г) і кадмій-нікелевий акумулятор на 3,7 В (маса 46 г). Вмикач живлення генератора виведений зовні на передній край труби. В цілому таке «джерело» звукових коливань (ДЗК) має масу 456 г (з урахуванням маси кабеля ТРП всередині труби між схемою і телефонним капсулем). Зовнішній вигляд ДЗК показано на **фото 1**. Як показує експеримент, ДЗК мускульним зусиллям руки можливо кидати на відстань 10 – 11 метрів.



Фото 1

Експериментатор і присутні спостерегачі спочатку чують звук при ДЗК (власна частота генератора) в стані, коли ДЗК має нульову швидкість і при рухові ДЗК від спостерегачів, при киданні ДЗК; то відчувається зниження частоти звукових коливань, а коли ДЗК приземляється чути звукові коливання попередньої, «власної» частоти. При віддаленні ДЗК від спостерегачів змінюється також гучність звучання, проте на це не звертаємо уваги. ДЗК ніби «тікає» від спостерегачів і звукові хвилі «розтягуються» в повітрі, тобто період коливань збільшується, а частота звукових коливань, відповідно, зменшується.

Якщо спостерегачі перейдуть на відстань 13...15 м і будуть прослуховувати експеримент при рухові ДЗК, оберненого кінцем вперед, тобто телефонний капсуль буде рухатись назустріч спостерегачам, то відчувається підвищення частоти звукових коливань, а коли ДЗК приземляється чути «власні» звукові коливання ДЗК.

Ще більш ефективнішим буде дослідіу, якщо спостерегачі знаходяться на деякій висоті, або внизу (наприклад 10 м) і під кутом до землі натягнений залізний провідник

і по ньому на кільцях спускається вниз ДЗК. В даному випадку рух ДЗК буде рівноприскореним і відповідно частота звуку також буде змінюватись.

Зрозуміло, що ці експерименти можливо проводити тільки зовні приміщення.

Зробити генератор звукових частот досить просто і його можуть виготовити навіть радіоаматори-початківці.

Принципова електрична схема генератора на 400 Гц приведена на рис.1. На транзисторах VT1, VT2 зібрано класичний мультівібратор. На транзисторі VT3 зібрано потужний вхідний електронний ключ, який і подає імпульси звукової частоти на телефонний капсуль. Схема живиться від акумулятора на 3,7 В, або від чотирьох елементів типу АА (напруга живлення 6 В), як це показано на схемі **рис. 1**. тональний звук «тривоги». Найбільша гучність виходить з капсульем типу BF1 з опором 3000 Ом, проте хороший результат виходить і з телефонним капсульем фірми «TESLA» з опором 50 Ом. При напрузі живлення 3,7 В ДЗК чути на 25 м. При живленні напругою 6 В, або 9 В (12 В) - гучність звучання ДЗК значно більша. Збільшувати напругу живлення доцільно в разі встановлення пристрою на рухомому об'єкті: велосипед, мопед, мотоцикл.

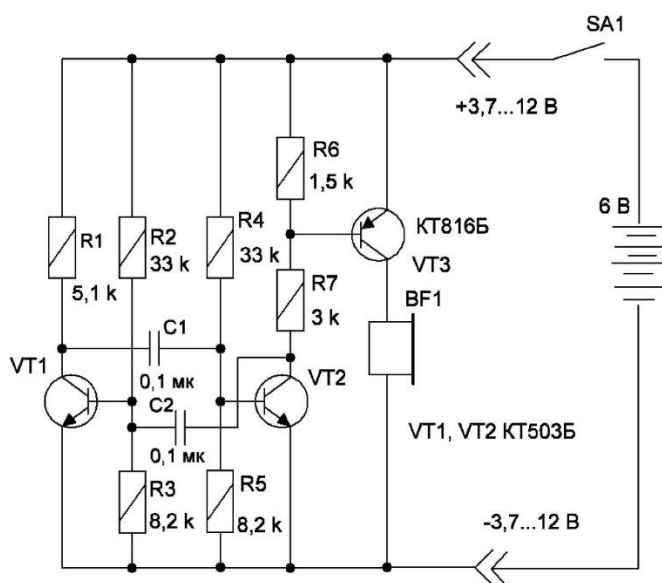


Рис.1

Зібрана схема поміщається в пластмасовий корпус розміром: 15 мм×15 мм × 190 мм. Зовнішній вигляд компонентів ДЗК показано на **фото 2**. Схема вкладається в вузький корпус для змоги помістити в трубу. Без додаткової труби для кидання можливо генератор з телефонним капсульем встановити на велосипеді, мопеді і спостерігати за звуком, коли велосипедист проїжджає мимо спостерігачів.



Фото 2

Автор: Бабин Дмитро Святославович