

Вступ

Істотний інтерес до пошуку золота і монет виник у 70-х рр. в США у зв'язку з різким підвищенням вартості золота. Справа в тому, що в США з 1933 по 1974 р. громадянам США заборонялося мати самородне золото в приватних руках. Уряд підтримувало в цей момент штучно низьку ціну золота (35 доларів за унцію). Після скасування цього закону ціна золота стала різко зростати, дійшовши наприкінці 70-х рр. до 800 доларів за унцію. Це стало новим імпульсом у пошуку золота і стимулювало виробництво металошукачів, які стали широко застосовуватися для цих цілей. Виникли десятки нових фірм, які виробляють такі прилади. Однак у гострій конкурентній боротьбі лише кілька фірм в 70-е рр. зуміли вижити - це Garrett Electronics, Inc., Fisher Research Laboratory (у 2006 р. на цю фірму купила фірма First Texas International), White's Electronics, Inc. (США) і C-Scoop (Англія). У 80-х рр. виникли і успішно розвиваються, знайшовши свою нішу, такі фірми, як Tesoro Electronics, Inc., Ltd. і Teknetics в США, Minelab в Австралії. З'явилися малогабаритні, стабільні і дуже чутливі прилади.

По мірі прогресу в конструкції металошукачів були успішно вирішені такі проблеми, як відбудова від металевого сміття і від електропровідних мінералів ґрунту (оксиди заліза і солі), тоді як до кінця 70-х рр. ці два процеси не можна було виконати одночасно. Робоча частота приладів була знижена з 100 кгц до 1-5 кгц. Придумана схема безперервної автопідстроювання приладу в ході пошуку, з'явилися економічні імпульсні прилади з дискримінацією і т. д.

Проаналізувавши ринок металодетекторів, було обрано технологію та версію приладу. Метою стало дослідження та складання робочого пристрою. Перевагою якого повинна стати простота, мобільність та надійність електричної схеми, конструкції. В основі цього металошукача повинні лежати дві котушки індуктивності, одна з яких виконує функцію приймача, інша – передавача. Пошук металу має супроводжуватися звуковою індикацією наближення або віддалення користувача від металу.

Для досягнення поставлених цілей необхідно:

1. Розробити принципову схему пристрою з урахуванням заданих параметрів.
2. Провести математичне обґрунтування окремих вузлів схеми.
3. Провести моделювання роботи пристрою у SPICE-системі.
4. Скласти робочий прототип пристрою.

РОЗДІЛ 1

1.1. Короткі відомості

Існує три основних типи металодетекторів:

- BFO - beat frequency oscillator - металодетектор на биття - використовуються два коливальних контура. В одному з них (search oscillator) індуктивним елементом служить пошукова котушка, а його сигнал змішується з сигналом іншого еталонного генератора (reference oscillator). Метал поблизу котушки впливає на частоту генерації цього контуру, що проявляється в зміні частоти результуючих биття.

- IB - induction balance - індукційно-балансний металодетектор.

Різновидами таких детекторів є TR (transmit-receive) і VLF (very low frequency).

У детекторі TR дві котушки (передавальна (transmitter coil) і приймальня (receiver coil)) розташовані так, що індуктивний зв'язок між ними відсутній.

У передавальну котушку подається модульований (наприклад, частотою 800 Гц) сигнал радіочастоти (наприклад, частоти 130 кГц). При наявності металу виникає обурення в електромагнітному полі і в приймальній котушці виникає сигнал. Він посилюється на високій частоті, детектується і виділений низькочастотний сигнал після посилення подається в динамік або навушники.

- PI - pulse induction - імпульсний металошукач. В імпульсному детекторі пошукова котушка не є частиною резонансного контуру, що дозволяє робити її практично будь-якого розміру і форми (наприклад, популярний розмір котушки для глибинного пошуку - 1 м × 1 м). Поділ за часом фази передачі і прийому сигналу дозволяє працювати з більш високою потужністю випромінюваного сигналу.

1.2. Теоретичні основи роботи імпульсного металодетектора

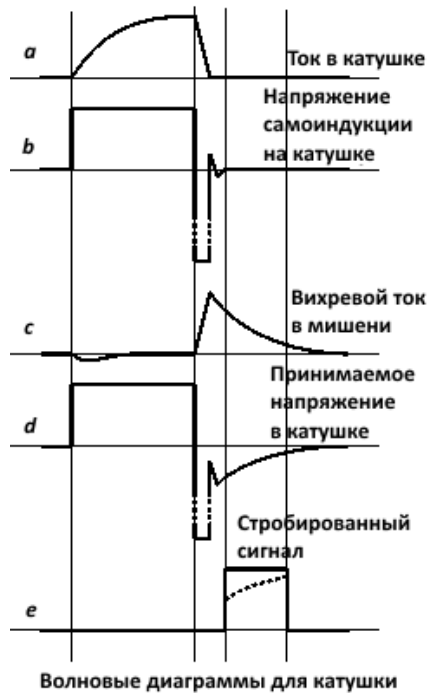


Рис 1.1. Волнові діаграми для катушки

У процесі його роботи за допомогою потужного транзисторного ключа пошукова котушка-випромінювач періодично на короткий час підключається до джерела живлення, що викликає протікання через котушку струму експоненціально наростаючого струму силою до декількох ампер і більше (перша частина кривої а). Напруженість магнітного поля H , створюваного струмом I в круглій котушці з w витків радіусом R , на осі котушки відстані z від центру котушки визначається виразом:

$$H = \frac{2\omega IR^2}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}. \text{ При різкому перериванні цього}$$

струму (друга частина кривої а) на котушці виникає імпульс напруги самоіндукції (крива b) величиною до сотень вольт. Подібний процес відбувається і в котушці запалювання автомобіля. При розташуванні поблизу котушки струмопровідний об'єкта - мішені (англ. Target) різко змінюється при перериванні струму первинне магнітне поле котушки пронизує цей об'єкт і створює в ньому вихрові струми (англ. Eddy currents) (крива c). Ці вихрові струми завжди надають протидію викликав їх зміни магнітного поля, створюючи вторинне магнітне поле. Це змінне магнітне поле досягає витків пошукової котушки і наводить в ній змінну напругу, яка накладається на напругу самоіндукції і призводить до подовження заднього фронту імпульсу напруги на котушці (крива d). Для детектування факту подовження фронту імпульсу сигнал (напруга на пошуковій котушці) стробірується за допомогою електронного ключа (крива e). При цьому відсікається сигнал від переданого імпульсу і сплеск напруги самоіндукції відразу після його закінчення. Коротка затримка строб-ефекту вибирається таким чином, щоб за цей час встигли завершитися перехідні процеси, викликані перериванням струму в котушці (крива b). Таким чином відбувається поділ переданого і прийнятого сигналів, а єдина котушка використовується як для передачі, так і для прийому сигналу (TR).

1.3. Схема імпульсного металодетектора

В імпульсному металодетекторі можна виділити генератор імпульсів, транзисторний ключ, вузол пошукової котушки, схему детектування і схему індикації.

1.3.1. Транзисторний ключ

В якості ключового елемента використовується потужний MOSFET з попередніми каскадом на біполярному транзисторі. У багатьох конструкціях в якості ключового транзистора застосовується IRF740 (400 В, 0,55 Ом, 10 А).

1.3.2. Пошукова котушка

Паралельно пошуковій котушці L включений резистор $R7$ для гасіння імпульсу напруги самоіндукції, а два включених зустрічно-паралельно діоди $VD1$ і $VD2$ спільно з резистором $R8$ обмежують величину імпульсу, що надходить на вхід схеми детектування.

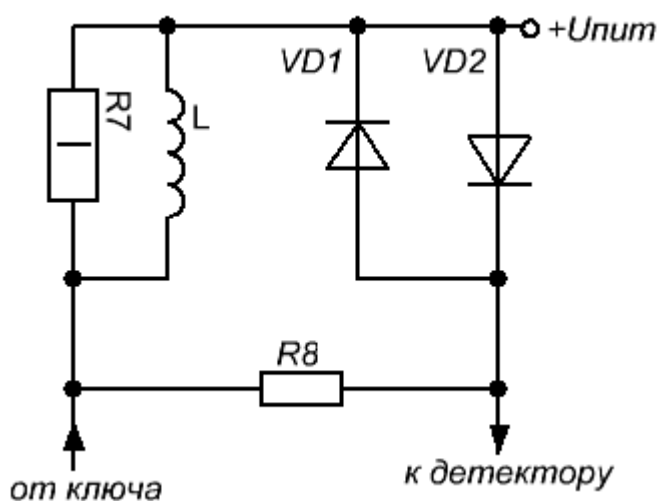


Рис.1.2. Схема пошукової котушки

1.3.3. Схема детектування

Схема детектування складається з двох операційних підсилювачів, один з яких працює в режимі підсилювача, а другий в режимі компаратора.

1.3.4. Схема індикації

У найпростішому випадку схема звукової індикації представляє собою підсилювач звукової частоти на біполярному транзисторі, навантажений на динамік.

1.3.5. Генератор імпульсів

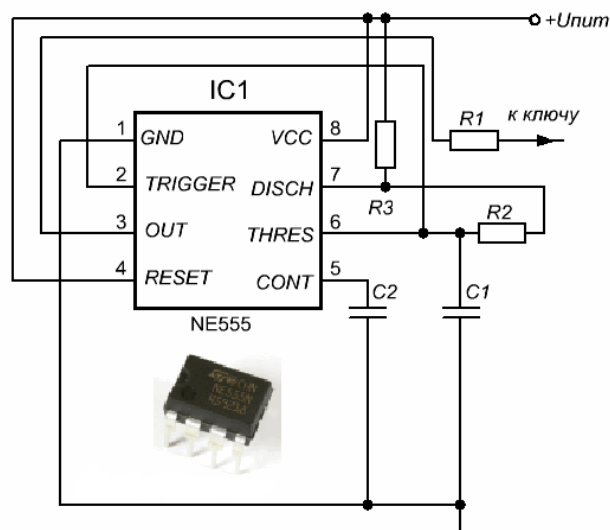


Рис. 1.3. Генератор імпульсів на базі NE555

1.4. Принцип роботи NE555 в автоколивальному режимі

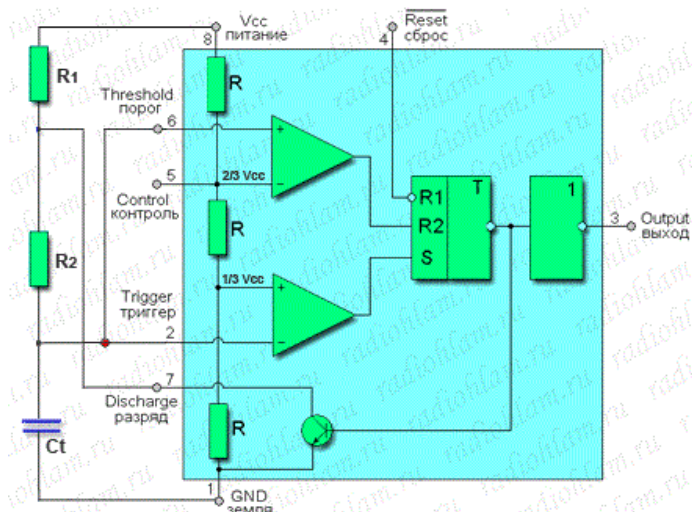


Рис.1.4. Схема NE555

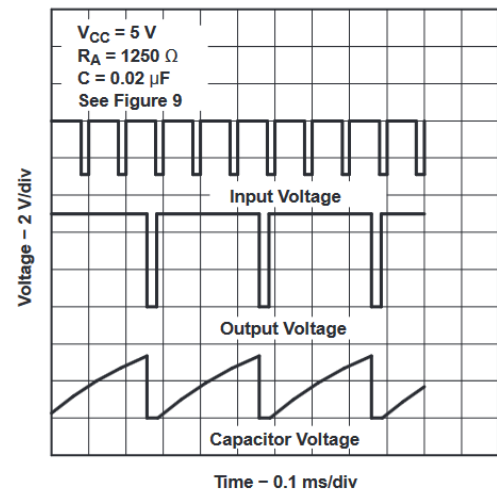


Рис.1.5. Форми сигналів таймеру

На старті конденсатор C_t розряджений (напруга на ньому менше $1/3 V_{cc}$), значить спрацює компаратор запуску і сформує високий рівень на вході S нашого тригера. Напруга на 6-й нозі менше $2/3 V_{cc}$, значить компаратор, що формує сигнал на вході R2, - вимкнений (на його виході низький рівень, тобто сигналу Reset немає). Отже відразу після включення наш тригер встановиться, на його виході з'явиться логічний 0, на виході таймера встановиться високий рівень, транзистор на 7-й нозі закриється і конденсатор C_t почне заряджатися через резистори R1, R2. При цьому напруга на 2-й і 6-й ногах почне рости. Коли ця напруга зросте до $1/3 V_{cc}$ - пропаде сигнал Set. Сигнал Reset сформується верхнім компаратором, коли напруга на конденсаторі, а разом з ним на 2-й і 6-й нозі, досягне значення $2/3 V_{cc}$ (тобто як тільки напруга на конденсаторі стане трохи більше - відразу сформується Reset). Цей сигнал (Reset) скине наш тригер і на його виході встановиться високий рівень. При цьому на виході таймера встановиться низький рівень, транзистор на 7-й нозі відкриється і конденсатор C_t почне розряджатися через резистор R2. Напруга на 2-й і 6-й ногах почне падати. Як тільки воно стане трохи менше $2/3 V_{cc}$ - верхній компаратор знову переключиться і сигнал Reset пропаде, але встановити тригер тепер можна тільки сигналом Set, тому він так і залишиться в скинутому стані. Як тільки напруга на C_t знизиться до $1/3 V_{cc}$ (стане трохи нижче) - знову спрацює нижній компаратор, що формує сигнал Set, і тригер знову встановиться, на його виході

знову з'явиться нуль, на виході таймера - одиниця, транзистор на 7-й нозі закриється і знову почнеться заряд конденсатора.

Далі цей процес так і буде тривати до нескінченності - заряд конденсатора через R1, R2 від $1/3 V_{cc}$ до $2/3 V_{cc}$ (на виході таймера високий рівень), потім розряд конденсатора від $2/3 V_{cc}$ до $1/3 V_{cc}$ через резистор R2 (на виході таймера низький рівень). Таким чином схема тепер працює як генератор прямокутних імпульсів, тобто мультивібратор в автоколивальних режимі (коли імпульси самі виникають, без будь-яких зовнішніх впливів).

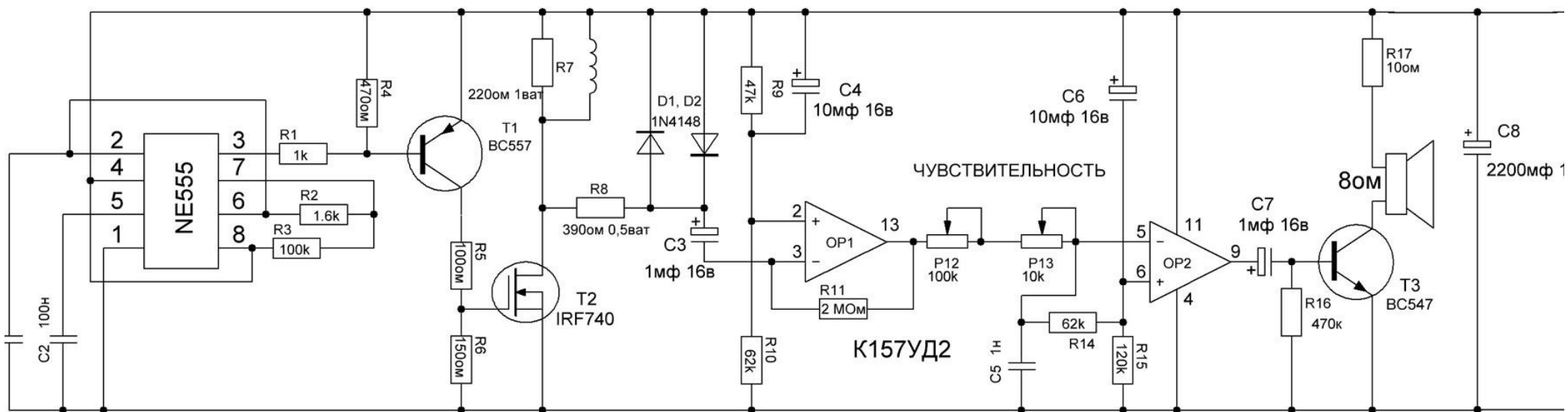


Рис.1. Схема електрична принципова 1

РОЗДІЛ 2

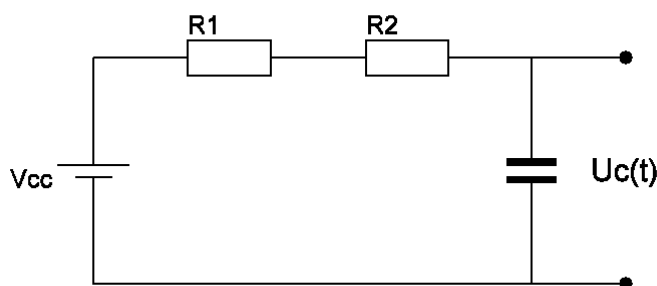
Математичне обґрунтування

Математично розрахуємо період імпульсів NE555 у режимі мультивібратора.

Конденсатор C_t в нульовий момент часу заряджається через резистори R_1 та R_2 . (Форми сигналів зображено на Рис.1.5.). Видно, що утворилось RC-коло. Необхідно розрахувати функції заряду та розряду конденсатору від часу t . Зауважимо, що нас цікавить діапазон заряду/розряду від $1/3V_{cc}$ до $2/3V_{cc}$, в якому буде спрацьовувати мікросхема.

Заряд ємності:

Накреслимо еквівалентну схему:



Запишемо змінну:

$$R = R_1 + R_2$$

Запишемо систему рівнянь за допомогою I та II законів Кірхгофа:

$$I_R = \frac{U_R}{R} = \frac{V_{cc} - U_c}{R}$$

$$V_{cc} = U_R + U_c$$

$$I_c = C \frac{\partial U_c}{\partial t}$$

$$I_c = I_R$$

$$\frac{\partial U_c}{\partial t} = - \frac{d(V_{cc} - U_c)}{dt}$$

$$C \frac{\partial U_c}{\partial t} = \frac{V_{cc} - U_c}{R}$$

$$- \frac{\partial (V_{cc} - U_c)}{\partial t} = \frac{V_{cc} - U_c}{R}$$

$$-RC \int \frac{\partial (V_{cc} - U_c)}{V_{cc} - U_c} = \int dt$$

$$-RC * \ln(V_{cc} - U_c) = t + Const$$

Гранична умова:

$$t = 0, U_c(0) = \frac{1}{3}V_{cc}$$

$$Const = -RC * \ln\left(V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}\right)$$

$$-RC * \ln(V_{cc} - U_c) = t + RC * \ln\left(V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}\right)$$

$$e^{-\frac{t}{RC}} = \ln\left(\frac{V_{cc} - U_c}{V_{cc} - \frac{1}{3}V_{cc}}\right)$$

$$\left(\frac{2}{3}V_{cc}\right)e^{-\frac{t}{RC}} = V_{cc} - U_c$$

Отримана залежність $U_c(t)$:

$$U_c(t) = V_{cc} - \left(\frac{2}{3}V_{cc}\right)e^{-\frac{t}{RC}}$$

Знайдемо час за який ємність досягне значення $\frac{2}{3}V_{cc}$:

$$U_c(t) = \frac{2}{3}V_{cc}$$

$$\frac{2}{3}V_{cc} = V_{cc} - \left(\frac{2}{3}V_{cc}\right)e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$1 - \frac{2}{3} = \frac{2}{3}e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$t = -\ln\left(\frac{1}{2}\right)RC$$

$$R = R_1 + R_2$$

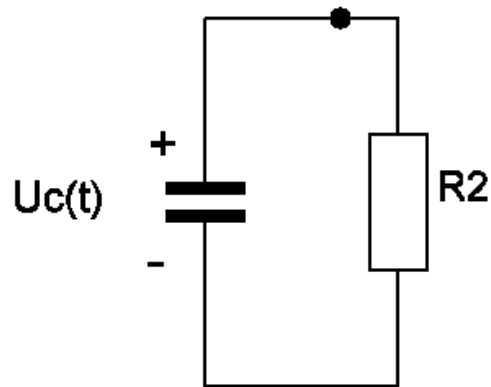
Звідси отримали час за який конденсатор зарядиться від $1/3V_{cc}$ до $2/3V_{cc}$, тобто тривалість імпульсу:

$$t_{\text{імпульсу}} = -\ln\left(\frac{1}{2}\right)(R_1 + R_2)C \approx 0,693(R_1 + R_2)C$$

Розряд ємності:

Ємність розряджається через резистор R_2 від $\frac{2}{3}V_{cc}$ до $\frac{1}{3}V_{cc}$

Накреслимо еквівалентну схему:



Замінімо:

$$R = R_2$$

Запишемо систему рівнянь:

$$I_c - I_R = 0$$

$$I_c = I_R$$

$$I_c = I_{R_2} = \frac{U_{R_2}}{R_2} = \frac{U_c}{R}$$

$$I_c = -C \frac{dU_c}{dt}$$

$$-C \frac{dU_c}{dt} = \frac{U_c}{R}$$

$$\int \frac{dU_c}{dt} = - \int \frac{dt}{RC}$$

$$\ln(U_c) = -\frac{t}{RC} + Const$$

Гранична умова:

$$U_c(0) = \frac{2}{3}V_{cc}$$

$$Const = \ln\left(\frac{2}{3}V_{cc}\right)$$

$$\ln(U_c) = -\frac{t}{RC} + \ln\left(\frac{2}{3}V_{cc}\right)$$

$$-\frac{t}{RC} = \ln\left(\frac{U_c}{\frac{2}{3}V_{cc}}\right)$$

$$e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{U_c}{\frac{2}{3}V_{cc}}$$

$$U_c(t) = \frac{2}{3}V_{cc}(e^{-\frac{t}{RC}})$$

Отримали функцію розряду конденсатора:

$$U_c(t) = \frac{1}{3}V_{cc}$$

$$\frac{1}{3}V_{cc} = \frac{2}{3}V_{cc}(e^{-\frac{t}{RC}})$$

$$e^{-\frac{t}{RC}} = \frac{1}{2}$$

Час розряду = часу затримки імпульсу:

$$t_{\text{затримки}} = -\ln\left(\frac{1}{2}\right)R_2C \approx 0,693R_2C$$

Період імпульсу:

$$T = t_{\text{імпульсу}} + t_{\text{затримки}} = -\ln\left(\frac{1}{2}\right)(R_1 + 2R_2)C \approx 0,693(R_1 + 2R_2)C$$

РОЗДІЛ

