

Міністерство освіти і науки України
Департамент освіти і науки Дніпропетровської облдержадміністрації
Дніпропетровське територіальне відділення МАН України

Відділення: технічні науки

Секція: електроніка та приладобудування

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСАТОРІВ У КОЛІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Роботу виконав:

Борисов Геннадій Євгенович,
учень 10-Б класу Дніпропетровського
ліцею інформаційних технологій
при ДНУ ім. Олесь Гончара

Науковий керівник:

Козлова Тетяна Іванівна
вчитель фізики Дніпропетровського
ліцею інформаційних технологій,
вчитель-методист,
відмінник освіти України

Дніпропетровськ – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Основна частина.....	4
Розділ 1. Теоретична частина.....	4
1 Види конденсаторів	4
2 Характеристики конденсаторів	6
2.1 Ємність конденсаторів.....	6
2.2 Номінальна ємність конденсаторів	7
2.4 Паразитні параметри конденсаторів	8
2.8 Тангенс кута втрат.....	8
2.9 Температурний коефіцієнт ємності (ТКЕ) конденсаторів	9
2.10 Діелектричне поглинання конденсаторів	9
3 ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРІВ.....	10
3.1 Загальні відомості	10
3.2 Вимірювання ємностей методом вольтметра - амперметра	12
3.5 Вимірювальні мости змінного струму	14
3.6 Мостовий метод вимірювання параметрів конденсаторів	15
3.7 Резонансні вимірювачі ємностей.....	16
4 ESR. Способи вимірювання	17
Розділ 2 Практична частина.....	21
Техніка безпеки при роботі з конденсаторами.....	21
2.1 Створення установки	21
2.2 Електрична схема приладу:	22
2.3 Процес створення:.....	24
2.4 Експерименти на тему: «Перевірка справедливості закону збереження електричного заряду на прикладі паралельного з'єднання двох конденсаторів у коло».....	29
Експеримент 1 Демонстрація конденсатору як накопичувача електричної енергії	29
Експеримент 2 Демонстрація струму зарядки конденсатору.....	30
Експеримент 3. З'єднання двох конденсаторів паралельно	31
ВИСНОВКИ	32
ДОДАТКИ	33
Створення установки для перевірки закону збереження електричного заряду	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	36

ВСТУП

Конденсатор – пристрій, що складається з двох провідників(обкладок), розділених шаром діелектрика. Зазвичай обкладки конденсатору мають однакові за модулем різнойменні заряди. Для використання конденсаторів у сучасних приладах необхідно точно знати їх характеристики, такі як: ємність конденсаторів, номінальна ємність конденсаторів, паразитні параметри конденсаторів, тангенс кута втрат, температурний коефіцієнт ємності конденсаторів, діелектричне поглинання конденсаторів, також виконані додаткові експерименти для перевірки закону збереження електричного заряду за допомогою конденсаторів з'єднаних у коло.

У теоретичній частині подано різні характеристики конденсаторів та методи їх дослідження. У практичній частині автор проводив дослідження ємності та еквівалентного послідовного опору різних конденсаторів.

Основною темою цієї роботи є Еквівалентний Послідовний Опір(ESR - Equivalent Series Resistance). Для цього автор створив пристрій-вимірювач.

Висновок – дослідження характеристик конденсаторів є дуже важливою темою у сучасному світі, оскільки конденсатори використовуються у більшості сучасних приладів, а дослідження саме еквівалентного послідовного опору дуже важливе для використання конденсаторів у сучасній техніці, бо збільшення ESR конденсатора на кілька Ом, а іноді на кілька десятих часток Ома, може бути причиною непрацездатності пристрою.

Основна частина

Розділ 1. Теоретична частина

1 Види конденсаторів

По роду використовуваного діелектрика конденсатори бувають повітряними, керамічними, слюдяними, паперовими, скляними, та інші.

- **Повітряні конденсатори** виготовляються на невеликі ємності(десятки і сотні пікофарад) й використовуються головним чином в тих випадках, коли важливо, щоб в діелектрику виділилося найменша кількість енергії та його нагрів був мінімальним(наприклад у радіо передатчиках).
- Широко розповсюджені **керамічні конденсатори**. Вони являють собою пластини або трубки із спеціального керамічного матеріалу (наприклад, фаянсу), покритого з обох боків шаром металу. Керамічні конденсатори витримують великі напруги. Ця властивість присутня також **слюдяним конденсаторам**. Керамічні та слюдяні конденсатори мають велику ємність від кількох десятків до кількох тисяч піко фарад. На рис.1 показана будова паперового конденсатора. У ньому в якості пластин використані стрічки

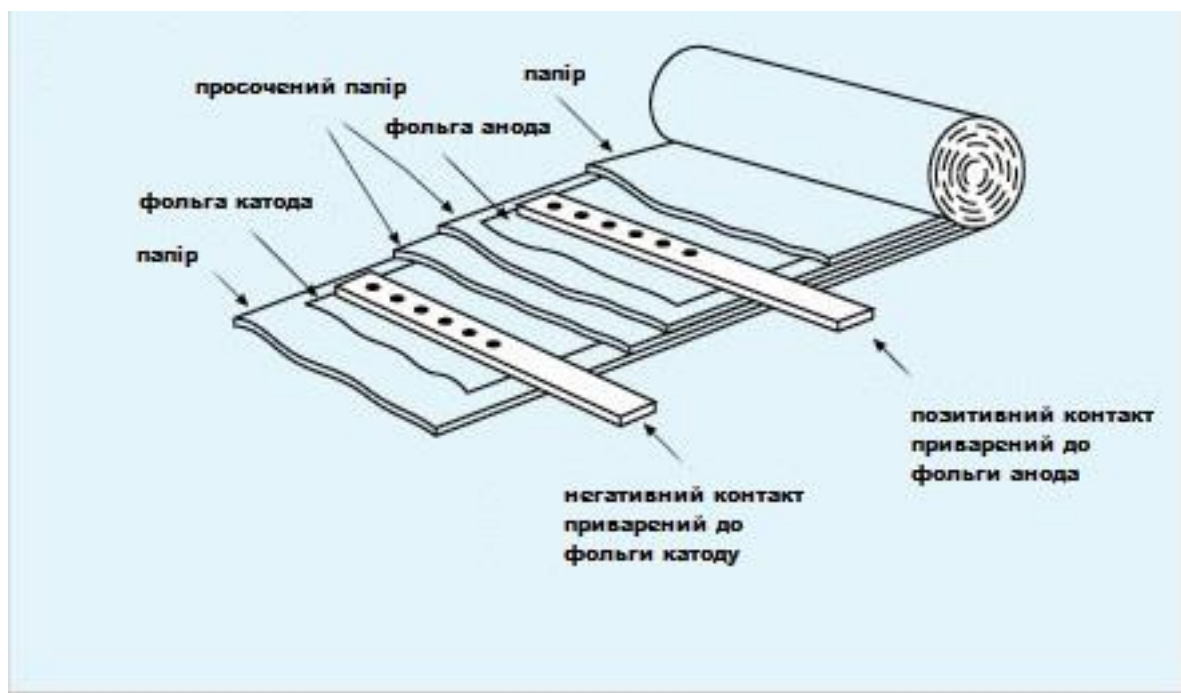


Рисунок 1. Паперовий конденсатор

алюмінієвої фольги, а діелектриком є тонка папера, просочена спеціальними сортами технічних масел. Мала товщина діелектрика та велика товщина пластин забезпечують суттєву електроємність (до десятків мікрофарад). Для того, щоб паперовий конденсатор займав менше місця, його скручують у рулон та укладають в металічний кожух. Виводи від провідників зроблені на прохідні ізолятори.



Рисунок 2.
Електролітичний конденсатор

Для отримання дуже великих електричних ємностей (десятки, сотні, тисячі, десятки тисяч мікрофарадів) використовують так звані **електролітичні конденсатори**. Діелектриком в них слугує дуже тонкий шар алюмінію, із якого роблять одну із обкладок. Другою обкладкою слугує електроліт. Завдяки малій товщині слою оксиду вдається отримати дуже великі електричні ємності.

Електролітичні конденсатори можна використовувати лише в колах з постійним струмом, при цьому потрібно зберігати полярність: позитивний полюс повинен бути підключений до обкладки з алюмінієвої фольги, а негативний – до корпусу. Тільки при такій полярності ввімкнення через плівку оксиду алюмінію електричний струм не проходить, ця плівка слугує діелектриком.

На конденсаторах вказують їх електричну ємність та робочу напругу, а на електролітичних конденсаторах – також полярність їх включення (якщо корпус алюмінієвий, то він завжди підключається до негативного полюса джерела струму).

В ряді моментів для отримання більшої електроємності з'єднують кілька конденсаторів паралельно, при чому утворюється батарея конденсаторів. Електрична ємність такої батареї рівна сумі електричних ємностей включених до неї конденсаторів:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

2 Характеристики конденсаторів

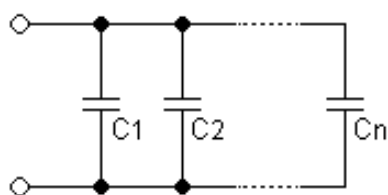
2.1 Ємність конденсаторів

Основною характеристикою конденсатора є його електрична ємність (точніше номінальна ємність), яка визначає його заряд в залежності від напруги на обкладках ($q = CU$). Типові значення ємності конденсаторів складають від одиниць пікофарад до сотень микрофарад. Ємність плоского конденсатора, що складається з двох паралельних металевих пластин площею кожна, розташованих на відстані один від одного, в системі СІ виражається формулою:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d},$$

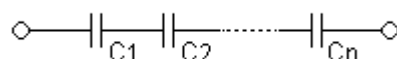
де ε – відносна діелектрична проникність середовища, що заповнює простір між пластинами (ця формула справедлива, лише коли багато менше лінійних розмірів пластин).

Для отримання великих ємностей конденсатори з'єднують паралельно. При цьому напруга між обкладками всіх конденсаторів однакою. Загальна ємність батареї паралельно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі ємностей всіх конденсаторів, що входять в батарею.



$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^N 1/C_i}$$

Якщо у всіх паралельно з'єднаних конденсаторів відстань між обкладинками та властивості діелектрика однакові, то ці конденсатори можна представити як один великий конденсатор, розділений на фрагменти меншої площі. При послідовному з'єднанні конденсаторів заряди всіх конденсаторів однакові. Загальна ємність батареї послідовно з'єднаних конденсаторів дорівнює: $C = \sum_{i=1}^N C_i$



Ця ємність завжди менше мінімальної ємності конденсатора, що входить в батарею. Однак при послідовному з'єднанні зменшується можливість пробою конденсаторів, оскільки на кожен конденсатор припадає лише частина різниці потенціалів джерела напруги. Якщо площа обкладок всіх конденсаторів, з'єднаних послідовно, однакова, то ці конденсатори можна представити у вигляді одного великого конденсатора, між обкладками якого знаходиться стопка з пластин діелектрика всіх складових його конденсаторів.

2.2 Номінальна ємність конденсаторів

Інший, не менш важливою характеристикою конденсаторів є номінальна напруга - значення напруги, позначене на конденсаторі, при якому він може працювати в заданих умовах протягом терміну служби із збереженням параметрів в допустимих межах. Номінальна напруга залежить від конструкції конденсатора і властивостей застосовуваних матеріалів. При експлуатації напруга на конденсаторі не повинно перевищувати номінального. Для багатьох типів конденсаторів із збільшенням температури допустима напруга знижується.

2.3 Полярність конденсаторів

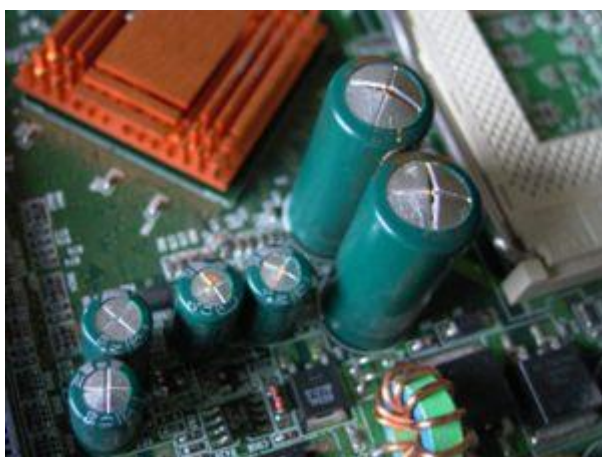


Рисунок 3. Зруйнований конденсатор

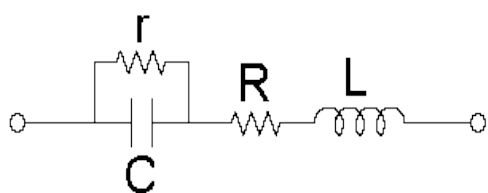
Багато конденсаторів з оксидним діелектриком (електролітичні) функціонують тільки при коректній полярності напруги через хімічних особливостей взаємодії електроліту з діелектриком. При зворотній полярності напруги електролітичні конденсатори, зазвичай, виходять з ладу

через хімічного руйнування діелектрика з подальшим збільшенням струму, скипанням електроліту всередині і, як наслідок, з імовірністю вибуху корпусу. Вибухи електролітичних конденсаторів - досить поширене явище. Основною

причиною вибухів є перегрів конденсатора, що викликається в більшості випадків витоком або підвищенням еквівалентного послідовного опору внаслідок старіння (актуально для імпульсних пристроїв).

2.4 Паразитні параметри конденсаторів

Реальні конденсатори, крім ємності, володіють також власними опором і індуктивністю. З високим ступенем точності, еквівалентну схему реального конденсатора можна уявити таким чином:



C - власна ємність конденсатора;

r - опір ізоляції конденсатора;

R - еквівалентний послідовний опір;

L - еквівалентна послідовна індуктивність.

Опір ізоляції **r** - це опір конденсатора постійному струму, яке визначається співвідношенням $r = U / I_{\text{в}}$, де **U** - напруга, прикладена до конденсатора, **I_в** - струм витoku.

Еквівалентний послідовний опір **R** (EPC, англ. ESR) обумовлено головним чином електричним опором матеріалу обкладок конденсатора і контактів між ними, а також втратами в діелектрику.

Еквівалентна послідовна індуктивність **L** обумовлена, в основному, власною індуктивністю обкладок конденсатора. На низьких частотах (до одиниць кілогерц) ,зазвичай, не враховується в силу своєї незначності.

2.8 Тангенс кута втрат

Втрати енергії в конденсаторі визначаються втратами в діелектрику і обкладках. При протіканні змінного струму через конденсатор вектори напруги і струму зрушені на кут $\varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$, де δ – кут діелектричних втрат. При відсутності втрат $\delta = 0$. Тангенс кута втрат визначається відношенням

активної потужності P_a до реактивної P_p при синусоїдальній напрузі певної частоти. Величина, зворотна $tg(\delta)$, називається добротністю конденсатора.

2.9 Температурний коефіцієнт ємності (ТКЕ) конденсаторів

ТКЕ - коефіцієнт зміни ємності в залежності від температури. Таким чином значення ємності від температури визначається лінійною формулою:

$$C(T) = C_{н.у} - ТКЕ \cdot \Delta T$$

де T - збільшення температури в $^{\circ}C$ або $^{\circ}K$ відносно нормальних умов, за яких специфіковано значення ємності. ТКЕ застосовується для характеристики конденсаторів зі значною лінійною залежністю ємності від температури. Однак ТКЕ визначається не для всіх типів конденсаторів. Для характеристики конденсаторів з вираженою нелінійною залежністю зазвичай вказують граничні величини відхилень від номіналу в робочому діапазоні температур.

2.10 Діелектричне поглинання конденсаторів

Якщо заряджений конденсатор швидко розрядити до нульової напруги шляхом підключення низькоомного навантаження, а потім зняти навантаження і спостерігати за напругою на виводах конденсатора, то ми побачимо, що напруга повільно підвищується. Це явище отримало назву «діелектричне поглинання» або «адсорбція електричного заряду».

Конденсатор поводить себе так, немов паралельно йому підключено безліч послідовних RC-ланцюжків з різною постійною часу. Інтенсивність прояву цього ефекту залежить в основному від властивостей діелектрика конденсатора. Найменшим діелектричним поглинанням володіють конденсатори з тефлоновим (фторопластовим) діелектриком. Подібний ефект можна спостерігати і на більшості електролітичних конденсаторів, але в них він є наслідком хімічних реакцій між електролітом і обкладинками.

3 ВІМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНДЕНСАТОРІВ

3.1 Загальні відомості

Основними параметрами, що характеризують конденсатори, є їх електрична ємність і кут втрат. В електронних пристроях застосовуються конденсатори багатьох типів і різних призначень. Можливі значення їх ємностей лежать приблизно в межах від 1 пФ до 1000 мкФ. В області високих і надвисоких частот об'єктами вимірювань можуть також з'явитися вельми малі міжелектродні ємності електронних приладів і паразитні ємності між різними елементами схеми (ємності монтажу). Допустима похибка вимірювання ємностей конденсаторів залежить від області застосування останніх. Ємність конденсаторів, що входять до складу коливальних систем, повинна визначатися особливо ретельно, з похибкою, принаймні, 1%.

У кожному конденсаторі, включеному в електричний ланцюг, мають місце втрати енергії, що виникають головним чином в матеріалі діелектрика, а також внаслідок недосконалості ізоляції між висновками. З урахуванням втрат

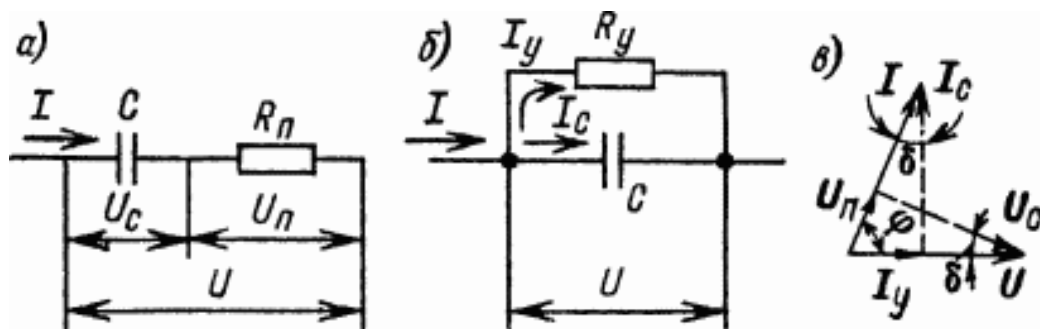


Рисунок 3. Еквівалентні схеми (а, б) и в

еквівалентну схему конденсатора можна представити у двох варіантах: або у вигляді ємності C , включеної послідовно з опором втрат $R_{\text{втр}}$ (рис. 3, а), або у вигляді тієї ж ємності C , шунтированої опором витоку $R_{\text{вит}}$ (рис. 3, б). При переході від однієї еквівалентної схеми до іншої для перерахунку значення активного опору користуються формулою:

$$R_{\text{втр}} = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot C)^2 \cdot R_{\text{вит}}} \quad \text{де } f - \text{ частота струму в колі конденсатора.}$$

Для більшості конденсаторів втрати дуже малі ($\operatorname{tg} \delta < 0,001$), тому можна вважати, що:

$$\operatorname{tg} \delta \approx \delta \approx \sin \delta = \sin (90^\circ - \varphi) = \cos \varphi .$$

Найбільші втрати мають місце в електролітичних і паперових конденсаторах, застосування яких в основному обмежується областю низьких частот.

При деяких методах вимірювань втрати в конденсаторі визначаються одночасно з вимірюванням його ємності. При цьому слід мати на увазі, що з підвищенням частоти втрати помітно зростають (що відповідає збільшенню значення R_p і зменшенню R_y), тоді як ємність C практично не залежить від частоти. На дуже високих частотах можливо помітне зростання діючої (вимірної за приладами) ємності конденсаторів через вплив індуктивності обкладок і підвідних проводів параметри конденсатора. (C , R_p , R_y , δ) залежать від зовнішніх умов його роботи - температури, вологості, атмосферного тиску, а також від прикладеної до нього напруги. Тому у відповідальних випадках випробування конденсаторів здійснюється не тільки на їх робочих частотах, але і в умовах, близьких до експлуатаційних.

Найпростіші перевірки конденсаторів можна виробляти і без спеціальних вимірювальних приладів. За допомогою омметра або пробника легко виявити коротке замикання або пробую між обкладинками конденсатора (слід лише враховувати, що пробій іноді виявляється тільки при значній напрузі на конденсаторі, близькому до його робочій напрузі). Перевірка на обрив неелектролітичних конденсаторів ємністю від 0,01 мкФ і вище найпростіше проводиться включенням конденсатора в ланцюг змінного струму, наприклад освітлювальну або трансляційну, послідовно з якої-небудь навантаженням - лампою розжарювання, гучномовцем і т. п. Конденсатор, опір витоку якого велике, здатний утримувати тривалий час без помітного зменшення отриманий ним заряд; це дозволяє простими засобами оцінити якість

конденсаторів ємністю понад 0,01 мкФ. При підключенні до такого конденсатору омметра стрілка вимірювача останнього за рахунок струму заряду кілька відхилиться, а потім (при великому опорі витоку) повернеться у вихідне або близьке до нього положення. Для вимірювання параметрів конденсаторів застосовуються методи вольтметра - амперметра, безпосереднього вимірювання за допомогою мікрофарадметров, порівняння (заміщення), мостовий і резонансний. Напруга, прикладена до конденсатора при будь-якому його випробуванні, не повинно перевищувати допустимого робочого напруги. Якщо в процесі випробування конденсатор заряджається до значного напруження, необхідно виробляти його розряд по закінченні випробування (наприклад, за допомогою кнопки, включеної паралельно конденсатору).

3.2 Вимірювання ємностей методом вольтметра - амперметра

Метод вольтметра - амперметра застосовують для вимірювання порівняно великих ємностей. Живлення вимірювальної схеми зазвичай виробляють від джерела струму низької частоти: $F = 50 \dots 1000$ Гц, тому виявляється можливим знехтувати активними втратами в конденсаторах, а також впливом реактивних параметрів вимірювальних приладів і паразитними зв'язками.

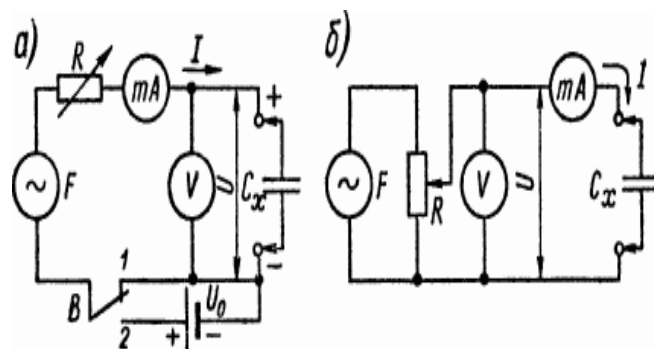


Рис. 4. Схеми вимірювання ємностей методом вольтметра-амперметра

3.3 Мікрофарадметри з послідовною і паралельною схемами вимірювання

Прилади, у яких оцінка вимірюваних ємностей проводиться безпосередньо за шкалою стрілочного вимірювача, називаються мікрофарадметрами. Дія цих приладів може базуватися на використанні залежності струму або напруги в ланцюзі, що живиться джерелом змінного

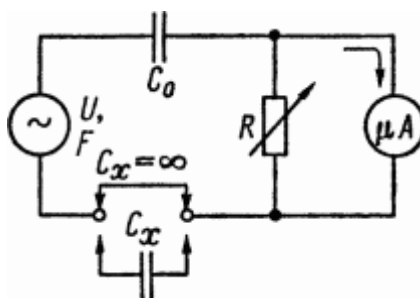


Рис. 5. Послідовна схема мікрофарадметра

струму, від значення вимірюваної ємності включеного в неї конденсатора.

Схеми таких приладів в чомусь аналогічні схемам омметрів і мегомметрів.

Найбільш зручним джерелом живлення мікрофарадметра є мережа змінного струму частотою 50 Гц, що дозволяє за допомогою малогабаритного трансформатора отримати будь-яке необхідну напругу.

3.4 Вимірювання ємностей методом порівняння (заміщення)

Даний метод базується на порівнянні дії, що чиниться вимірюваної ємністю C_x і відомої ємністю C_0 на режим вимірювальної схеми. Найпростіша схема вимірювань, в якій ємності C_x і C_0 порівнюються за значенням їх опору змінному струму, наведена на рис. 6. При включенні конденсатора C_x потенціометром R встановлюють в ланцюзі струм, зручний

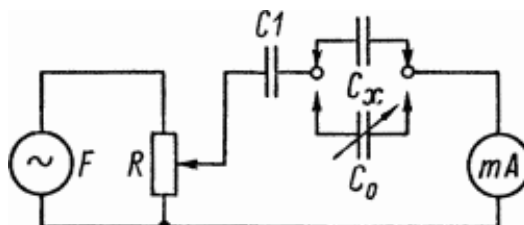


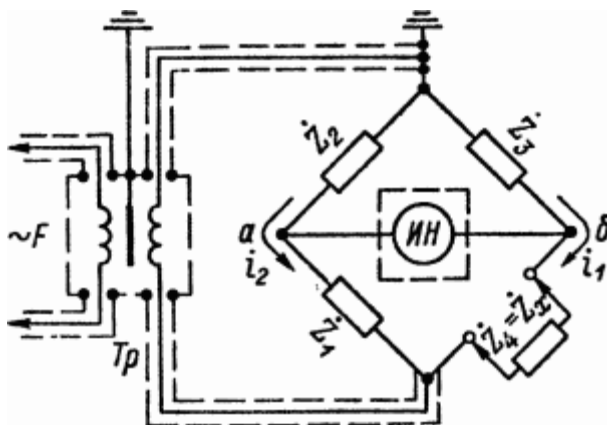
Рис. 6. Схема вимірювання ємностей

для відліку або контролю за міліамперметру змінного струму mA або іншому низькоомними індикатору. Потім замість конденсатора C_x приєднують до схеми магазин ємностей або зразковий (опорний) конденсатор змінної ємності і зміною його ємності Z_i домагаються колишнього показання індикатора. Це буде мати місце при $C_o = C_x$. Похибка вимірювань залежить від чутливості індикатора і похибки відліку ємності Z_i ; вона може бути отримана рівною приблизно 1% і менше.

При вимірюванні ємностей понад методом порівняння 5000 пФ схему вимірів можна живити від мережі змінного струму частотою 50 Гц. Для вимірювання менших ємностей необхідний генератор, що працює на більш високих частотах. У всіх випадках для забезпечення безпеки індикатора в ланцюг слід включати обмежувальний конденсатор (C_1) або резистор. Метод порівняння в різних варіантах широко застосовується в мостових та резонансних Фарадометр. Він може бути реалізований і в мікрофарадметрах, розглянутих у попередніх параграфах, при істотному зниженні похибки

3.5 Вимірювальні мости змінного струму

Для вимірювання параметрів конденсаторів і котушок індуктивності широко застосовуються урівноважені мости змінного струму. У загальному випадку плечі вимірювального моста змінного струму (рис. 7) володіють комплексними опорами Z_1, Z_2, Z_3 і Z_4 , одне з яких, наприклад Z_4 , є об'єктом вимірів. Харчування моста проводиться від джерела змінного струму



частоти F , напруга якого підводиться безпосередньо або через трансформатор Tr до однієї з діагоналей моста. В іншу діагональ включається індикатор нуля змінного струму ИИ.

Рис. 7. Схема моста змінного струму

3.6 Мостовий метод вимірювання параметрів конденсаторів

Найбільш зручним джерелом живлення мікрофарадметра є мережа змінного струму частотою 50 Гц, що дозволяє за допомогою малогабаритного трансформатора отримати мости, застосовувані для вимірювання параметрів конденсаторів, поділяються на магазинні і реохордні (лінійні).

На рис. 8, а наведена схема багатограничного магазинного моста:

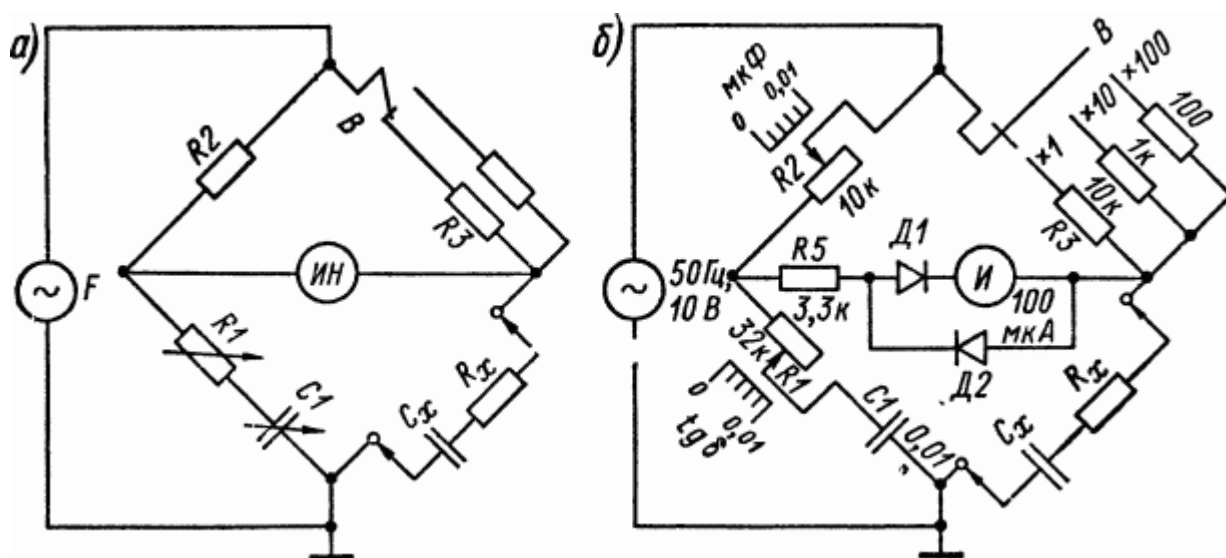


Рис.8. Схеми магазинних мостів

З метою спрощення конструкції в деяких вимірювальних мостах конденсатор C_1 береться постійної ємності, а в якості регульованих елементів використовуються два змінних резистора, наприклад R_1 і R_2 (рис. 8, б). Прості вимірювачі ємностей виконуються за схемою реохордного моста, в якому зазвичай передбачається можливість вимірювання та опорів, а іноді й індуктивностей. Для виключення впливу паразитних зв'язків і похибок самого моста його часто поєднують з методом заміщення.

3.7 Резонансні вимірювачі ємностей

Крім вимірювання частоти електричних коливань резонансні методи широко застосовуються для вимірювання малих ємностей і індуктивностей, добротності, власної або резонансної частоти настройки та інших параметрів радіодеталей і коливальних систем.

Похибка вимірювання ємностей резонансним методом досягає 5-10% через вплив паразитних зв'язків, деякого впливу контуру генератора на параметри вимірювального контуру, труднощі точної фіксації стану резонансу; вона також залежить від стійкості частоти генератора і похибки її вимірювання.

При поєднанні резонансного методу з методом заміщення усувається залежність результату вимірювання ємностей від точності вимірювання

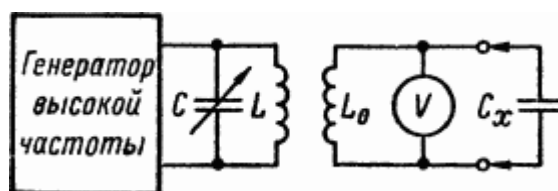


Рис. 9. Схема вимірювання ємностей резонансним методом

частоти генератора і паразитних зв'язків, завдяки чому похибка вимірювань можна знизити до 1% і менше. Для цього до вимірювального контуру (рис. 10) підключають опорний конденсатор змінної ємності C_0 і при максимальній ємності його C_1 налаштовують генератор на резонансну частоту контура. Потім паралельно конденсатору Z_i приєднують конденсатор C_x ; порушений резонанс відновлюють при незмінній налаштуванні генератора за допомогою зменшення ємності до деякого значення C_{02} . Вимірювана ємність, очевидно, визначається формулою:

$$C_x = C_{01} - C_{02}.$$

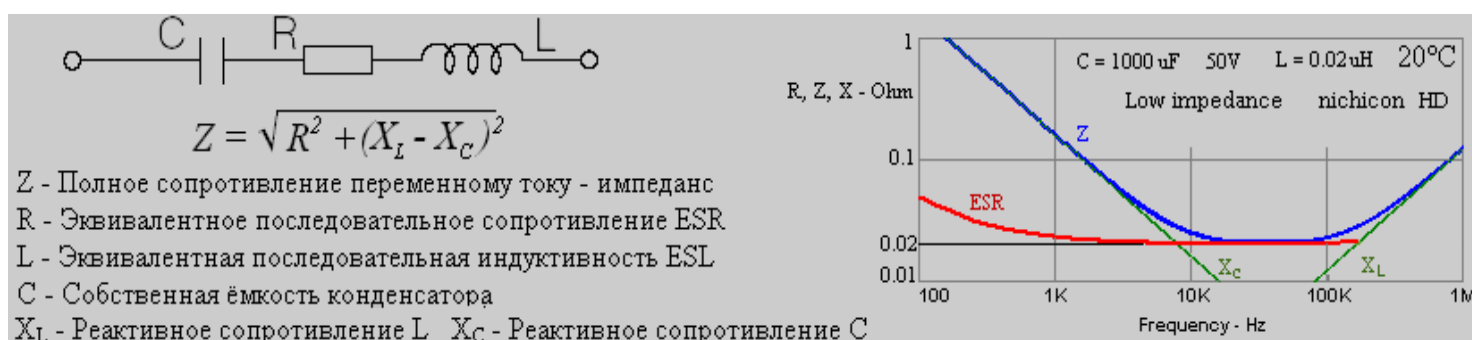
Верхня межа вимірюваних подібним методом ємностей дорівнює різниці між максимальною C_m і початкової C_n ємностями конденсатора C_0 .

4 ESR. Способи вимірювання

ESR - Equivalent Series Resistance (Еквівалентний Послідовний Опір - ЕРС), як один із значущих паразитних параметрів електролітичних конденсаторів, в останні роки придбав широку популярність серед ремонтників електронної апаратури. Вимірники і пробники ESR для багатьох майстрів стали приладом першої необхідності поряд з тестером або мультиметром.

Збільшення ESR конденсатора на кілька Ом, а іноді на кілька десятків часток Ома, може бути причиною непрацездатності пристрою, в якому він встановлений, що іноді неможливо виявити існуючими вимірювачами ємності, не здатними враховувати інші параметри конденсатора. Зазвичай в ремонтній практиці не потрібно особливої точності у вимірюванні ESR, тому відчутна похибка пробників частіше не викликає незручностей у знаходженні несправних елементів, а визначення стану конденсатора пробником може спрощуватися до оцінки його якості за принципом - придатний або не придатний для роботи в конкретному вузлі пристрою. Але, слід зазначити, для конденсаторів, що працюють при великих імпульсних токах, наприклад, у фільтрах перетворювачів, іноді потрібно більше об'єктивна оцінка якості, а похибка в десяті і навіть соті частки Ома може мати суттєве значення.

На малюнку можна побачити, що в діапазоні робочих частот перетворювачів (декількох десятків кГц) реактивний опір конденсатора великої ємності і паразитної індуктивності в послідовному ланцюзі мають значення на порядок менше ESR та повного опору змінному струму (імпедансу). Отже, практично весь струм, який в імпульсі може досягати



десятків ампер, буде виділяти активну потужність на опорі (ESR), розігріваючи діелектрик і електроліт конденсатора.

Тангенс кута втрат, що указується в технічній документації виробників електролітичних конденсаторів для частоти 120 Гц (типове значення 0.1-0.22), втрачає свою актуальність на робочих частотах перетворювачів ІІІ і для конденсаторів фільтрів їх вторинних випрямлячів буде на порядки більше. Для роботи в таких режимах виробники виготовляють нізкоімпедансние конденсатори (Low impedance) і вказують для них значення імпедансу, виміряного на частоті 100 кГц для кожного номіналу в таблицях. Значення активної складової (ESR) тоді можна обчислити за формулою

$$R = \sqrt{Z^2 - X^2}.$$

Більшість популярних і застосовуваних в ремонтній практиці приладів і пробників ESR засновані на вимірі повного опору змінному струму на частоті 40 - 100 кГц. На частотах цього порядку для електролітичних конденсаторів великих номіналів такі прилади покажуть значення, максимально близькі до величини ESR, яка складе основну частину імпедансу на цих частотах. Недоліком такого способу є значна похибка при вимірюванні малих номіналів ємностей (менше 10 μF), коли реактивний опір конденсатора на даній частоті порівняно і може перевищувати ESR.

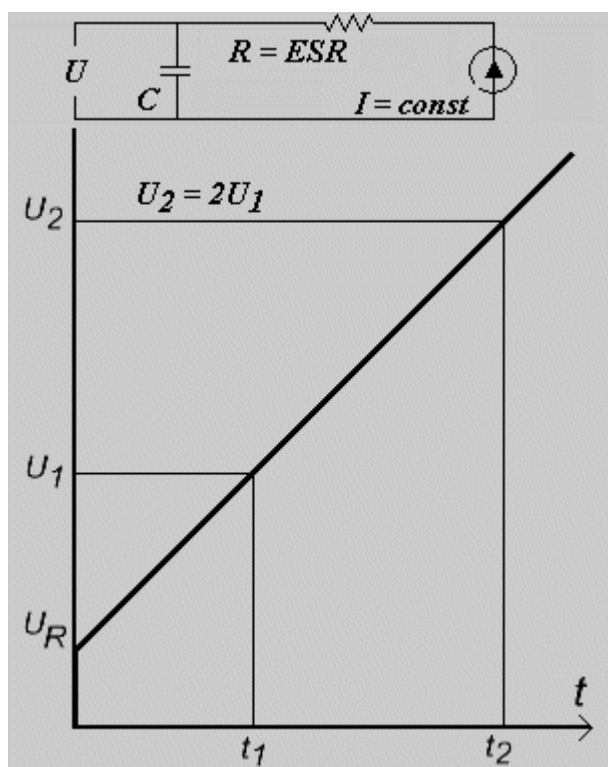
Тоді прилад покаже значення імпедансу, а реальне значення ESR може бути в кілька разів менше. Однією з вимог в плані практичності використання ESR-пробників є можливість проводити виміри без випаювання конденсатора з плати. Отже, процес вимірювання повинен відбуватися при досить низькому значенні напруги на перевіряемому конденсаторі, виключаючи відмикання переходів напівпровідникових елементів схеми.

У більшості випадків такі нехитрі вимірювачі імпедансу майстри збирають самостійно за схемами, широко поширеним в інтернеті, але хтось застосовує і свої розробки з урахуванням особистих переваг в плані зручності користування або точності вимірювань.

У продажу існують як прості пробники зі світлодіодним або стрілочної індикацією, так і вимірники з цифровою шкалою різного ступеня складності.

Докладно зупинятися на принципах і методах вимірювання імпедансу немає необхідності, таких обговорень та описів існує досить багато і їх неважко знайти в інтернеті. Але деякі особливості окремих конструкцій все ж можуть заслуговувати на увагу.

Якщо випробовуваний конденсатор ємністю C заряджати від джерела постійного струму I , напруга на його висновках буде лінійно наростати від значення U_R по закону:



$$C \, dU/dt = I = const.$$

U_R – падіння напруги на активному опорі конденсатора (ESR).

В такому випадку ємність конденсатора буде визначатися виразом:

$$C = I \, dt/dU.$$

Якщо порахувати час заряду для двох фіксованих значень напруги U_1 і U_2 , взявши значення U_2 удвічі більшим U_1 , розрахунок ємності буде таким:

$$C = I \frac{t_2 - t_1}{U_2 - U_1} = I \frac{t_2 - t_1}{U_1}$$

Порахувати UR для обчислення ESR можна кількома способами, наприклад, склавши рівняння прямої по двох точках і знайти координату Y для нульового значення X, або геометрично, виходячи зі співвідношення сторін подібних трикутників.

Активний опір конденсатора (ESR) в такому випадку буде складати:

$$ESR = \frac{U_1 (t_2 - 2t_1)}{I (t_2 - t_1)}$$

Слід враховувати, що ESR, виміряний постійним струмом, є відносним показником якості електролітичного конденсатора.

Значущою складовою ESR є діелектричні втрати, які суттєво змінюються зі зміною частоти змінного струму.

Розділ 2 Практична частина

Техніка безпеки при роботі з конденсаторами

Пам'ятаймо!

Заряджений конденсатор небезпечний для життя!

Забороняється торкатися знеструмленого електричного кола: в ньому можуть бути нерозряджені конденсатори!

Забороняється торкатися до виводів конденсатору!

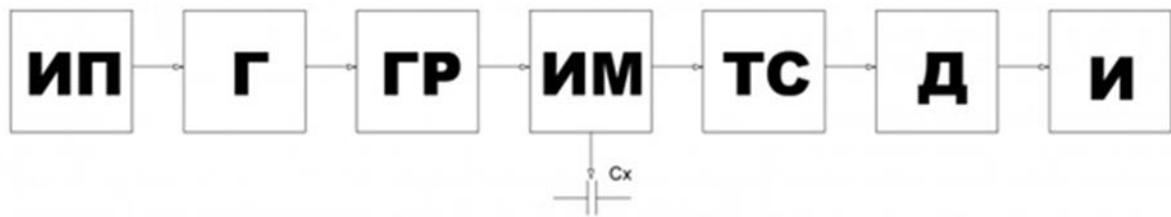
Це небезпечно тому що конденсатори – це накопичувачі електричної енергії, а людське тіло – гарний провідник струму, тому при необережній праці з конденсаторами можна отримати опіки!

2.1 Створення установки

Що таке EPC, або з англійської ESR всі знають. Існують безліч пробників з виявлення несправних або неякісних конденсаторів (якщо купуєте на ринку). А ось як визначити неякісний конденсатор з низьким внутрішнім опором LOW ESR, які все частіше встановлюються в різній техніці, комп'ютерах, і т.д.? Дуже часто несправності плат виникають через підвищених пульсацій напруги живлення, а в ланцюгах харчування майже завжди присутні електролітичні конденсатори. Саме вони в перших рядах мають найнижчу надійність. Практика показує, що більшість материнських плат, що працюють з раптовими перезавантаженнями і виключеннями, а також нестабільністю роботи, пов'язані в більшості випадку несправністю електролітичних конденсаторів. Навіть у візуально не нормальних конденсаторів може бути неприпустимо високий ESR - до 0,10 Ом! Такий конденсатор відчутно розігрівається, і може протекти на плату, попсувавши перехідні отвори електролітом. Гранично допустиме значення для LOW ESR конденсаторів в відповідальних і навантажених ланцюгах - 0,04 Ом, а краще до 0,03 і менше.

2.2 Електрична схема приладу:

Структурна схема пристрою для більш зрозумілого призначення кожного компонента:



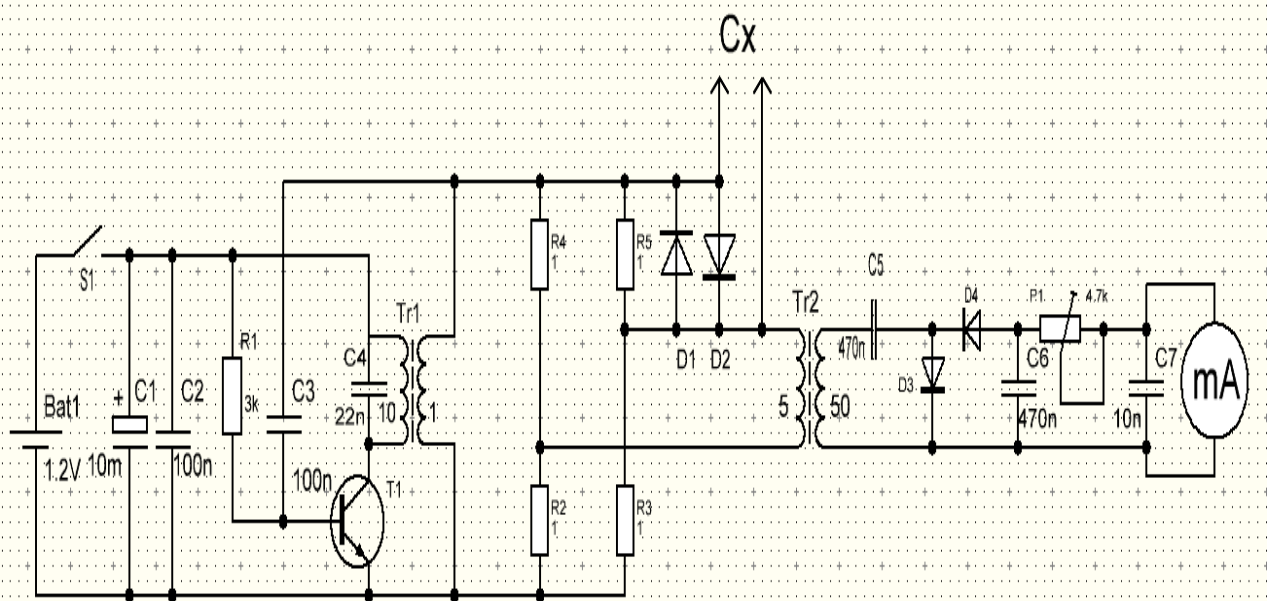
ИП - источник питания
Г - генератор 110кГц
ГР - гальваническая развязка
ИМ - измерительный мост
ТС - трансформатор согласующий
Д - детектор
И - измеритель
Сх - проверяемый конденсатор

Коротко про роботу: генератор на одному транзисторі виробляє синусоїдальний сигнал з частотою порядку 100кГц, яка подається на вимірювальний міст. Паралельно одному з резисторів моста підключається перевіряємий конденсатор. Вимірювання відбувається на високій частоті, так як сам параметр ESR конденсатора саме високочастотний. Для вимірювання просто надмалих опорів висока частота була б не потрібна. Транзистор можна використовувати КТ3102 або їх аналоги.

Принцип виміру заснований на взаємній компенсації опорів двох ланок, одна з яких включає вимірюваний опір. Напряга з вимірювального моста через підвищувальний трансформатор надходить на стрілочну голівку, де по відхиленню стрілки можна визначити вимірюваний опір. Змінний резистор 4.7кОм необхідний для установки "нуля" при замкнутих щупах. Перший трансформатор мотається на феритових кільцях одножильним емальованим дротом. Первинну обмотку другого трансформатора так само можна мотати емальованим дротом, а вторинну також - емальованим, діаметром 0.2мм. Кільця потрібно підібрати по магнітній проникності, тут потрібно експериментувати.

При складанні вимірювач необхідно налаштувати. Резистором в базі транзистора необхідно домогтися максимальної амплітуди імпульсів на колекторі при закорочених щупах. При цьому форма сигналу повинна бути максимально наближена до синусоїдальної, а частота бути близькою до 100кГц. Це необхідно для збереження добротності контуру з конденсатором 22нФ. При використанні резисторів моста з опором 1 Ом, на шкалі приладу "уміщається" близько 0.1Ом. При зменшенні опорів резисторів моста, прилад можна зробити ще більш чутливим. Шкала індикатора виходить нелінійної і її необхідно розмітити по еталонним SMD-опорам. У вивідних деталей на опір може впливати навіть довжина провідників. Контакти пінцета необхідно виконати по можливості більш товстими, бажано - з міді. При перевірці деталей контакти пінцета щільно стискаються, змінним резистором стрілка приладу встановлюється в нуль. Потім контакти так само щільно прикладаються до вимірюваної деталі.

Діоди FR153 захищають вимірювач ESR від пошкодження в разі, якщо вимірюваний конденсатор випадково виявиться зарядженим. Діоди у випрямлячі після підвищувального трансформатора - германієві Д9К, для меншого падіння напруги.



T1 - KT 3102 D3-D4 Д2К Cx = 0,1 мF - 3,3 мF

D1-D2 FR 153 mA - 50 mikroA

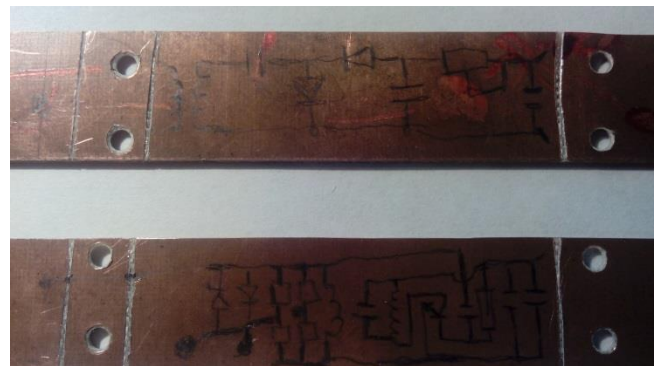
Цілі, які досягалися при проектуванні вимірювача:

- Максимальна простота
- Висока надійність
- Вимірювання на частоті 100 - 110 кГц
- Вимірювання низькою напругою (до 0,2 вольт)
- Точність вимірювання
- Розтягнута шкала в діапазоні до 0,5 Ома
- Низьке енергоспоживання
- Робота від одного акумулятора напругою 1,2 вольт
- Тривала робота без зарядки акумулятора
- Мінімум коригувальних налаштувань
- Мінімальна вартість

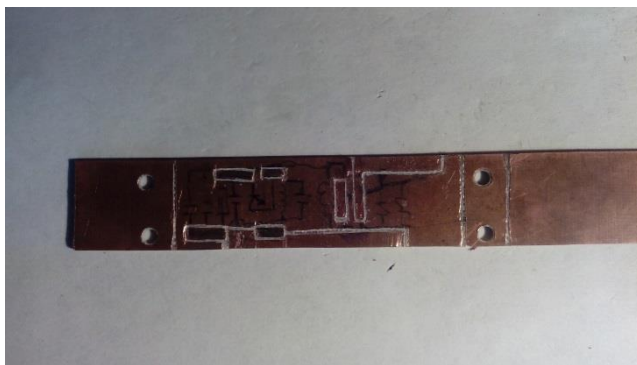
2.3 Процес створення:



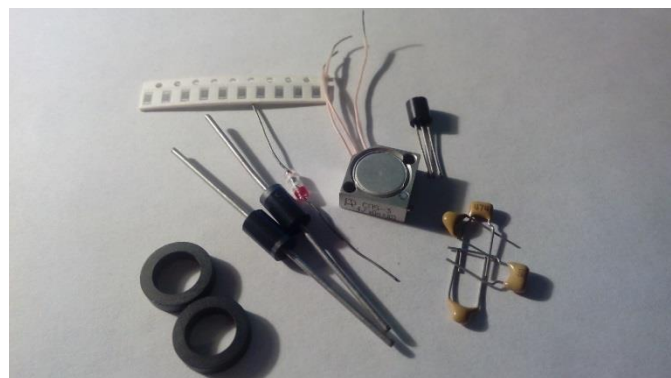
1. Основа приладу



2. Малюємо монтажну схему



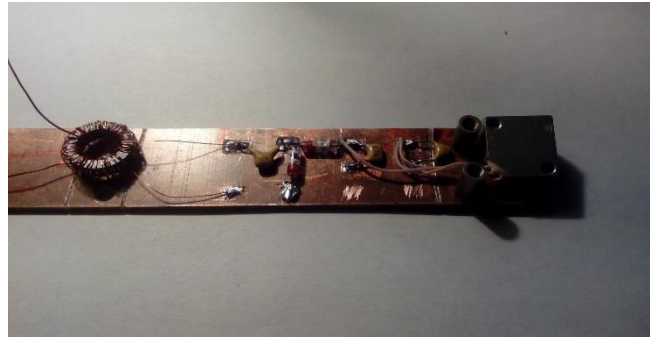
3. Креслимо з'єднувальні доріжки



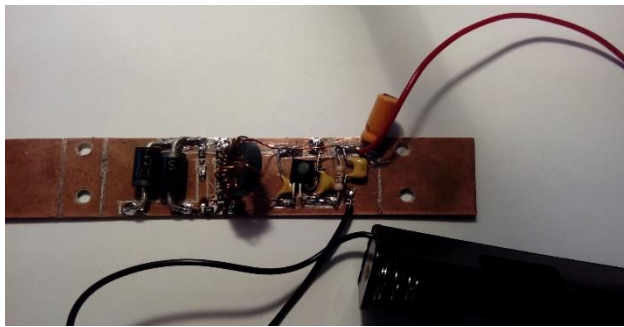
4. Необхідні деталі



5. Дві катушки - трансформатори



6. Вимірювальна частина схеми



7. Генеруюча частина схеми



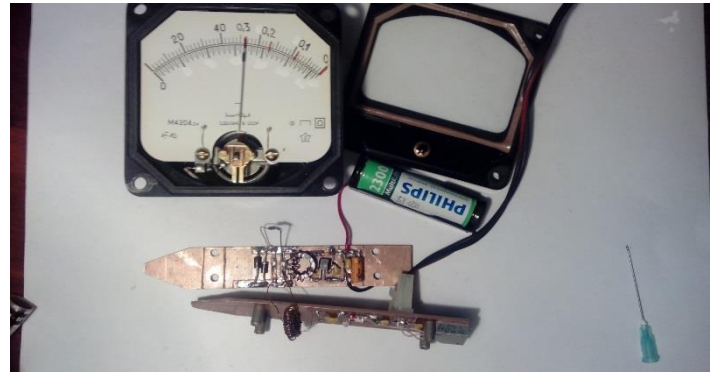
**8. Попереднє тестування
працездатності схеми**



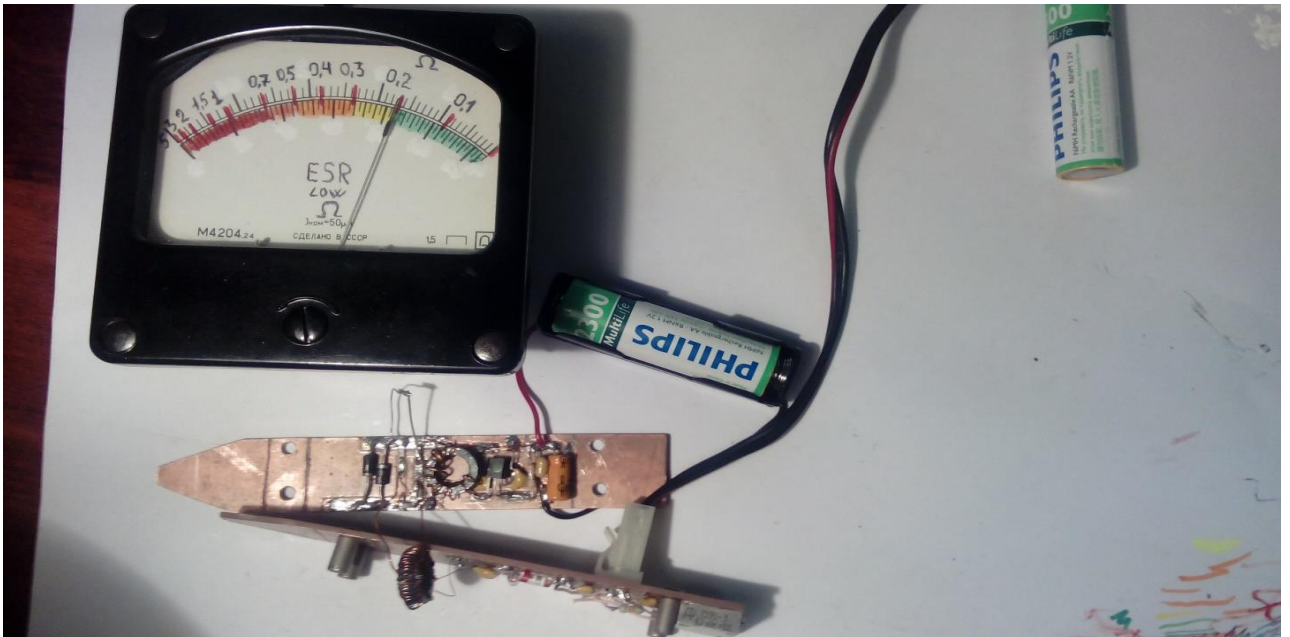
9. Показники для завідомо справного конденсатора



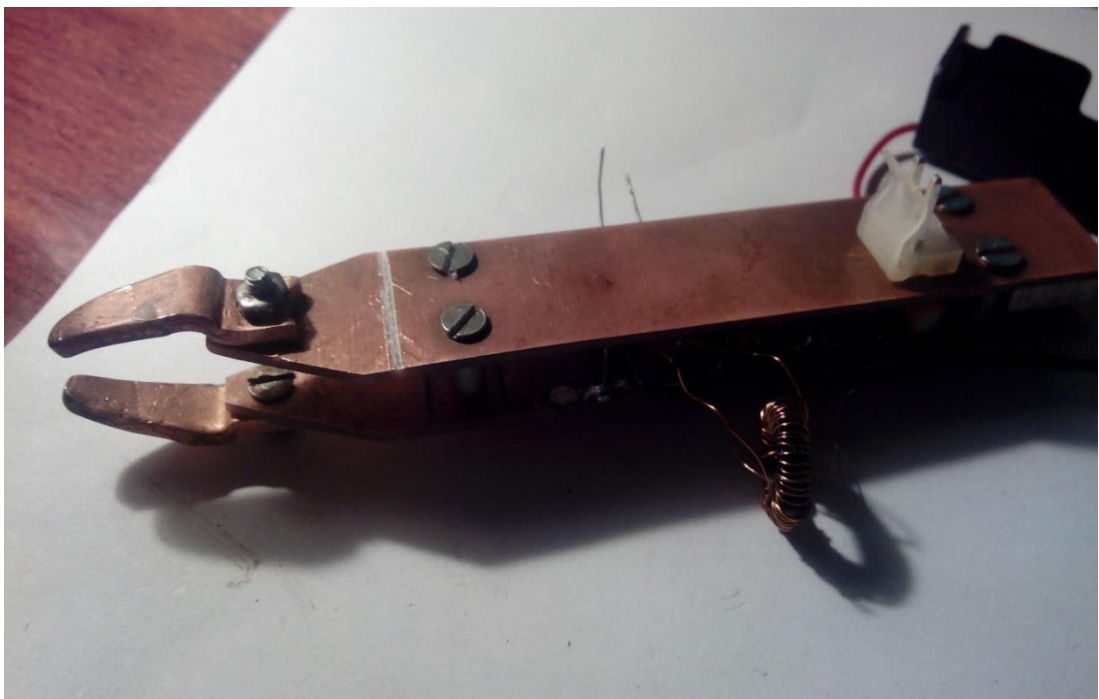
10. Показники для завідоми несправного конденсатора



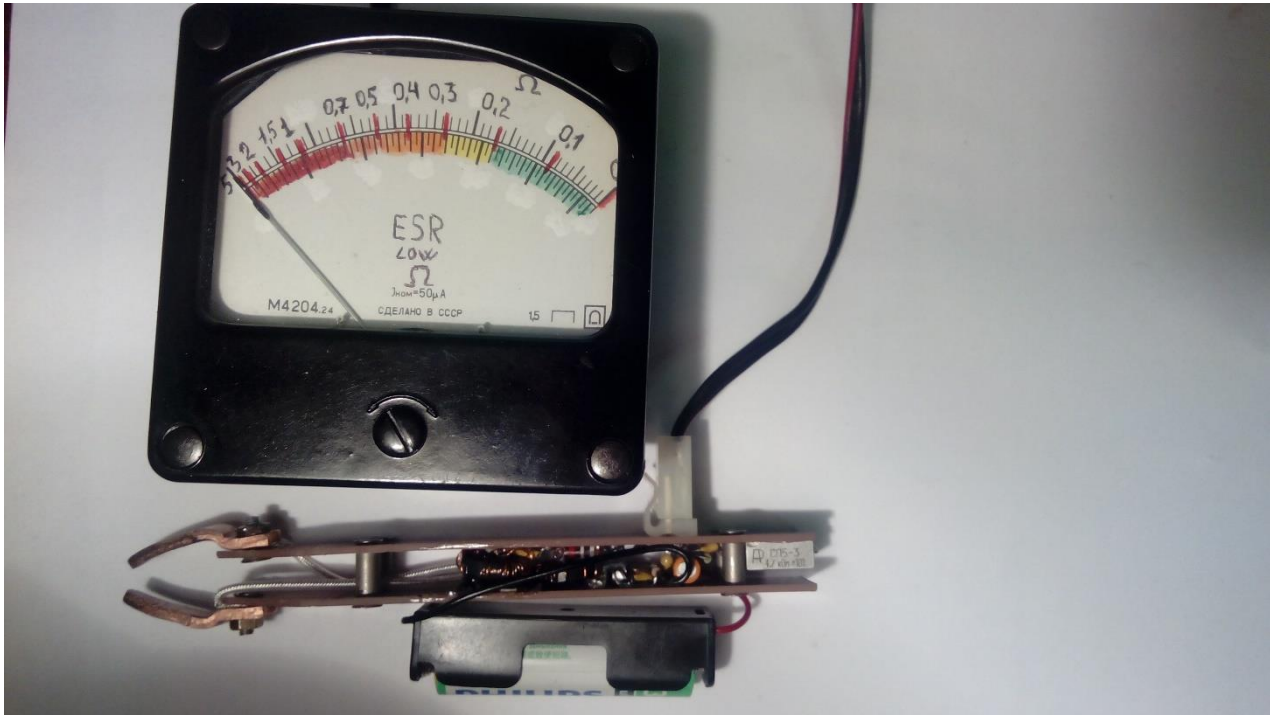
11. Градуємо шкалу за допомогою підключення постійних опорів



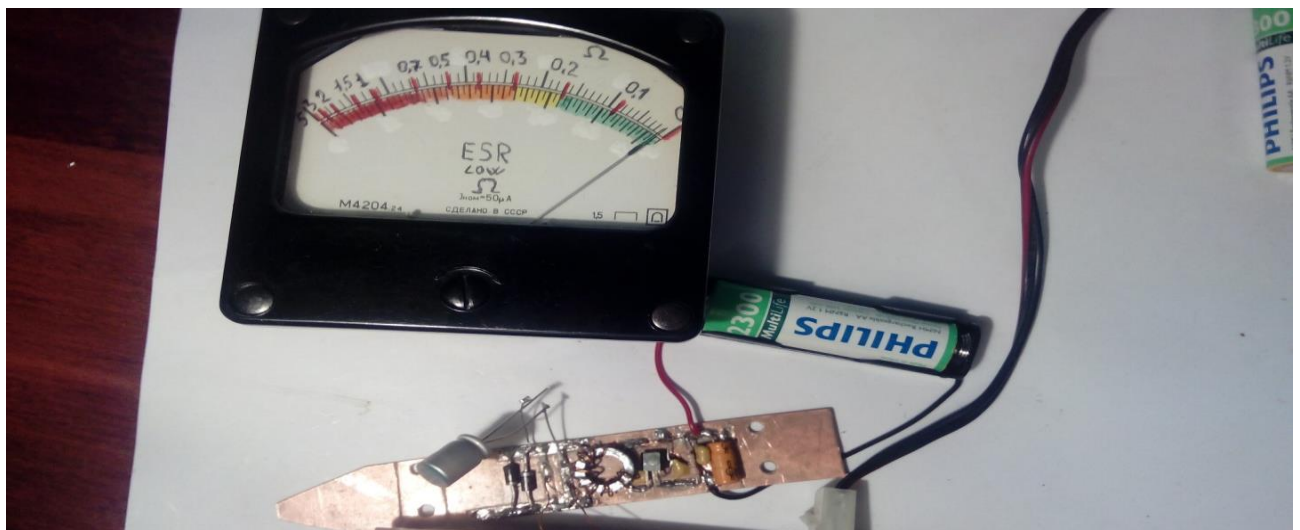
12. Відградуйована шкала



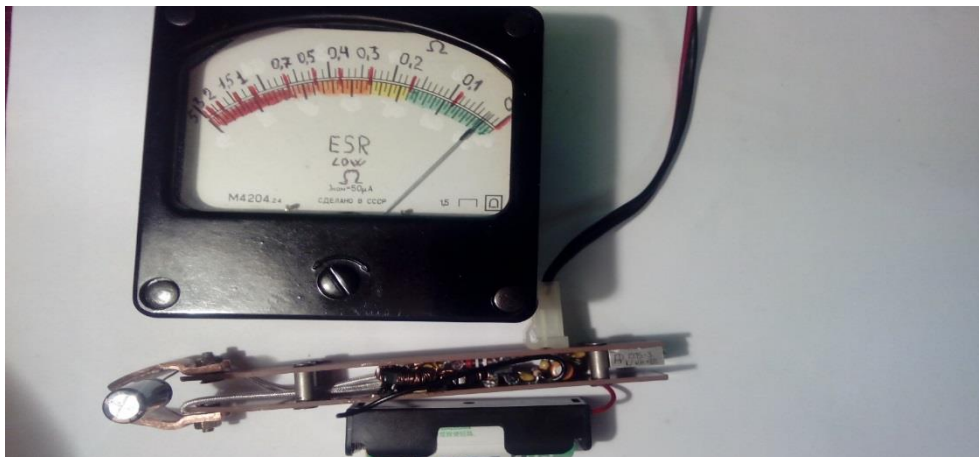
12. Монтуємо щупи



13. Повністю зібраний прилад



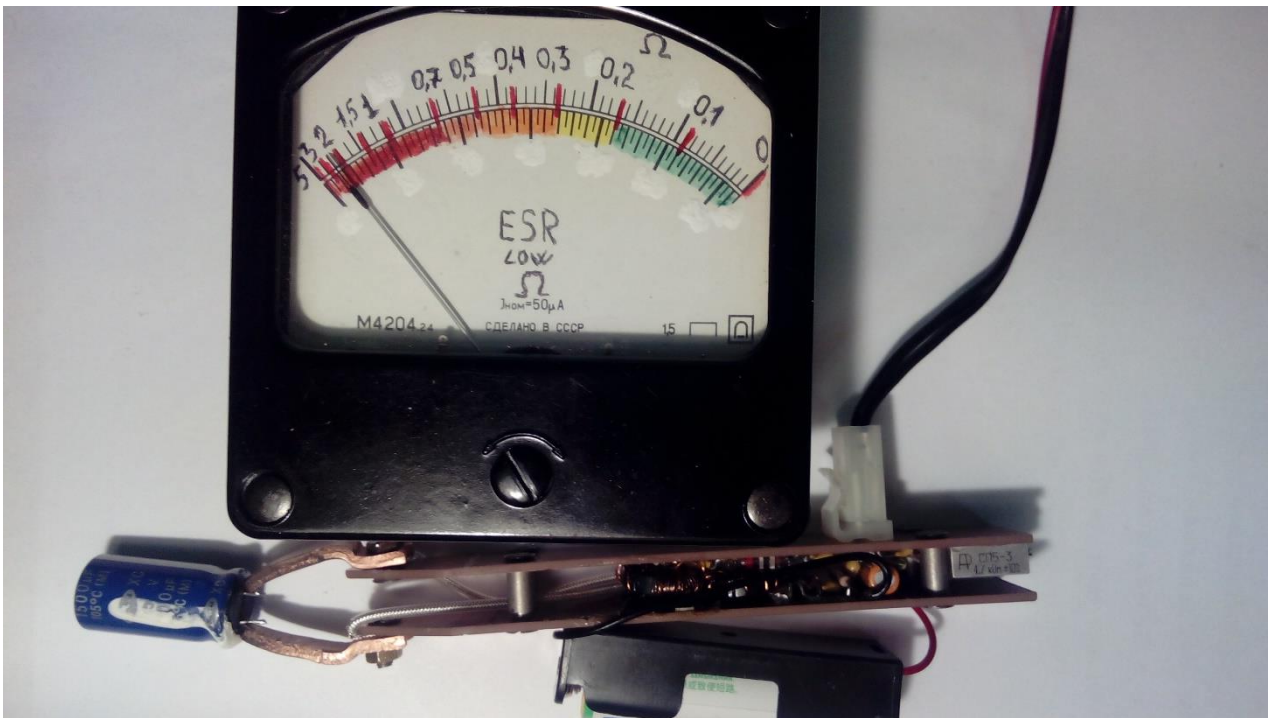
14. Перевірка полімерного електролітичного конденсатора ємністю 1000мкФ



15. Перевірка електролітичного конденсатора ємністю 1000мкФ



16. Перевірка електролітичного конденсатора, який був у користуванні



17. Перевірка пробитого електролітичного конденсатору

2.4 Експерименти на тему: «Перевірка справедливості закону збереження електричного заряду на прикладі паралельного з'єднання двох конденсаторів у коло»

Експеримент 1 Демонстрація конденсатору як накопичувача електричної енергії

1. Переключимо перемикачі 1 і 3 у положення 2
2. Ввімкнемо прилад. Спостерігаємо, що покази на основному вольтметрі змінилися і стали дорівнювати 9.5В.



Покази вольтметру

Експеримент 2 Демонстрація струму зарядки конденсатора

1. Переключимо перемикачі 1 і 3 у положення 2.
2. Ввімкнемо прилад.
3. Переключимо перемикач 2 у положення 2. Спостерігаємо, що покази на амперметрі змінилися і стали дорівнювати 60мА (на рисунку покази дорівнюють 6 мА, але до амперметра підключений шунт).



Покази міліамперметру

Експеримент 3. З'єднання двох конденсаторів паралельно

1. Переключимо перемикачі 1 та 3 у положення 2
2. Підключимо додатковий вольтметр до контрольної точки 1
3. Ввімкнемо прилад. Спостерігаємо, що покази на основному вольтметрі змінилися і стали дорівнювати 9.5В.
4. Через деякий час, коли конденсатор 2 встиг трохи розрядитися, підключимо до нього паралельно 1 конденсатор. Бачимо, що заряд 2 конденсатора, який на той момент дорівнював 6В розподілився на 2 конденсатори як 2 заряди по 3В(рис. 9 - на рисунку видно, що значення трохи відрізняються, але це пов'язане лише з тим, що у стрілочного вольтметра(основного) витік заряду більший, ніж у цифрового). Це показує, що закон збереження енергії справедливий, і доводиться завдяки цьому досліду.

Таким чином, було проведено експеримент за допомогою установки, розробленої спеціально для цієї науково-дослідницької роботи. Практична частина роботи підтвердила положення теоретичної частини та надала їм експериментальної бази.



Рисунок 9 Результат експерименту

Цей експеримент може бути відтворений будь яким дослідником.

Детально про побудову цієї установки див. [ДОДАТКИ](#).

ВИСНОВКИ

В процесі створення теоретичної частини та проведення і за нотування мною результатів практичної частини мною були зроблені такі висновки:

В процесі роботи було проведено експерименти з передачі електричного заряду між двома конденсаторами, з'єднаними паралельно, струмам зарядку та розрядки конденсаторів, вимірювання еквівалентного послідовного опору за допомогою створених установок. Ці експерименти цілком підтвердили теоретичну частину роботи та показав, що користуючись вказаними в теоретичній частині формулами, якщо визначити заряд на кожному з конденсаторів, то можна побачити, що ці заряди рівні, визначити еквівалентний послідовний опір на будь-якому конденсаторі, а отже головна ціль створеної установки – перевірка справедливості закону збереження електричного заряду та визначення характеристик конденсаторів – виправдала себе.

Метою моєї науково-дослідницької роботи було довести справедливість закону збереження електричного заряду та перевірити деякі характеристики конденсаторів. Створена мною установка цілком відповідає своїм цілям та на ній можна наочно показати необхідні дослідження.

Вдалося прийти до таких висновків, що установка, яку розробили для цієї науково-дослідної роботи, цілком відповідає поставленим умовам, проста у роботі та використанні і надає цілковиту можливість проводити найрізноманітніші експерименти.

ДОДАТКИ

Створення установки для перевірки закону збереження електричного заряду

Друга частина роботи присвячена створенню установки для зарядки конденсаторів та їх з'єднання у коло для перевірки закону збереження електричного заряду.

Особливістю установки, яка пропонується для підтвердження справедливості закону збереження електричного заряду, є її простота. Така установка не має жодного сенсу, якщо її не можна створити у будь якій середній школі для використання на уроках фізики. Установка складається з:

1. Пластини фольгованого текстоліту(рис.1);
2. Двох конденсаторів ємністю 10000 мкФ і 4700 мкФ(рис.2);
3. Міліамперметру(рис.3);
4. Вольтметру(рис.4);
5. Двох перемикачів на два положення;
6. Одного перемикача на три положення;
7. Ключа;

Повністю зібрана схема(рис.5).

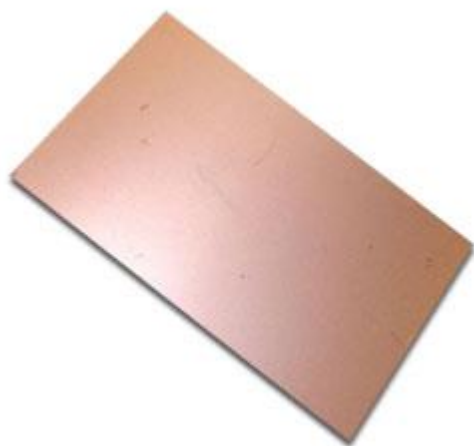


Рисунок 1. Пластина фольгованого текстоліту



Рисунок 2. Два конденсатори



Рисунок 3. Міліамперметр



Рисунок 4. Вольтметр



Рисунок 5. Повністю зібрана схема

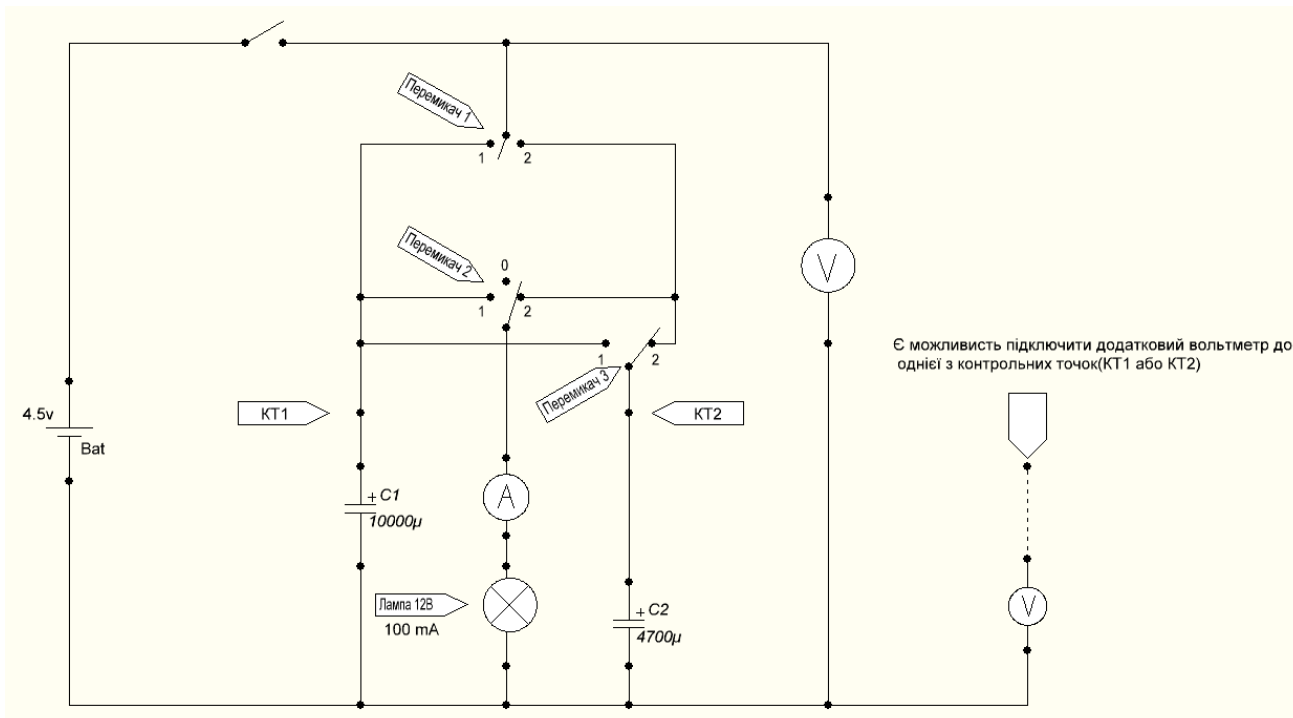


Схема установки

Назва	Положення перемикача		
	1	2	0
Перемикач 1	Вимірювання заряду на конденсаторі ємністю 10000 мкФ	Вимірювання заряду на конденсаторі ємністю 4700 мкФ	
Перемикач 2	Розряд 1 конденсатору	Розряд 2 конденсатору	Конденсатори не розряджаються
Перемикач 3	Паралельне з'єднання двох конденсаторів	Конденсатори роз'єднані	
Ключ	Вмикаємо заряджання конденсаторів	Вимикаємо заряджання конденсаторів	

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Электрические конденсаторы и конденсаторные установки: Справочник / В. П. Берзан, Б. Ю. Геликман, М. Н. Гураевский и др.; Под ред. Г. С. Кучинского. — М.: Энергоатомиздат, 1987.— 656 с.
- Справочник по электрическим конденсаторам /М. Н. Дьяконов, В. И. Кабанов, В. И. Присняков и др.; Под общ.ред. И. И. Четверикова и В. Ф. Смирнова. — М.: Радио и связь, 1983. — 576 с.
- І.М. Кучерук, І.Т. Горбачук, П.П. Луцик (2006). Загальний курс фізики: Навчальний посібник у 3-х т. Т.2. Електрика і магнетизм. Київ: Техніка.
- Сивухин Д.В. (1977). Общий курс физики. т III. Электричество. Москва: Наука.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. (1974). Теоретическая физика. т. II. Теория поля. Москва: Наука.