

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИШНКБ ТПУ

_____ П.Ф. Баранов

«____» _____ 2022 г.

**ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЁМКОСТИ
МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО СЧЁТА**

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №6
по курсу «Основы измерительной техники»

Томск – 2022

ББК 32.811.1я73
УДК 621.372.037(075.8)
Я 45

Якимов Е.В. Измерение сопротивления и ёмкости методом дискретного счёта: методические указания по выполнению лабораторной работы №6 – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2022.
– 22 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром отделения контроля и диагностики ИШНКБ ТПУ
« » _____ 2022 г. протокол № _____

Руководитель ОКД ИШНКБ _____ Суржиков А.П.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент отделения
контроля и диагностики ИШНКБ ТПУ

Е.М. Фёдоров

Томский политехнический университет, 2022

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Изучить метод преобразования электрических величин в длительность импульса.

1.2. Исследовать измеритель ёмкости на основе метода дискретного счёта.

2. КРАТКИЕ ПОЯСНЕНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

2.1. Метод дискретного счёта

В основу метода положен апериодический процесс, возникающий при подключении заряженного конденсатора к образцовому резистору [7]. При измерении сопротивлений обеспечивают разряд образцового конденсатора через измеряемый резистор. Иногда данный метод называют также методом заряда конденсатора. В общем случае данный принцип относится к методу преобразования физической величины в длительность импульса, т.н. широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Структурная схема измерителя ёмкости, реализующая метод, приведена на рис. 1.

В схеме используются генератор высокочастотных импульсов G , цифровой ключ SW (логический элемент И), делитель частоты ($f/\frac{f}{n}$), счётчик импульсов CT , индикатор, источник опорного напряжения REF , ключ $S1$, компаратор $DA1$ и резисторы $R0, R1 - R3$.

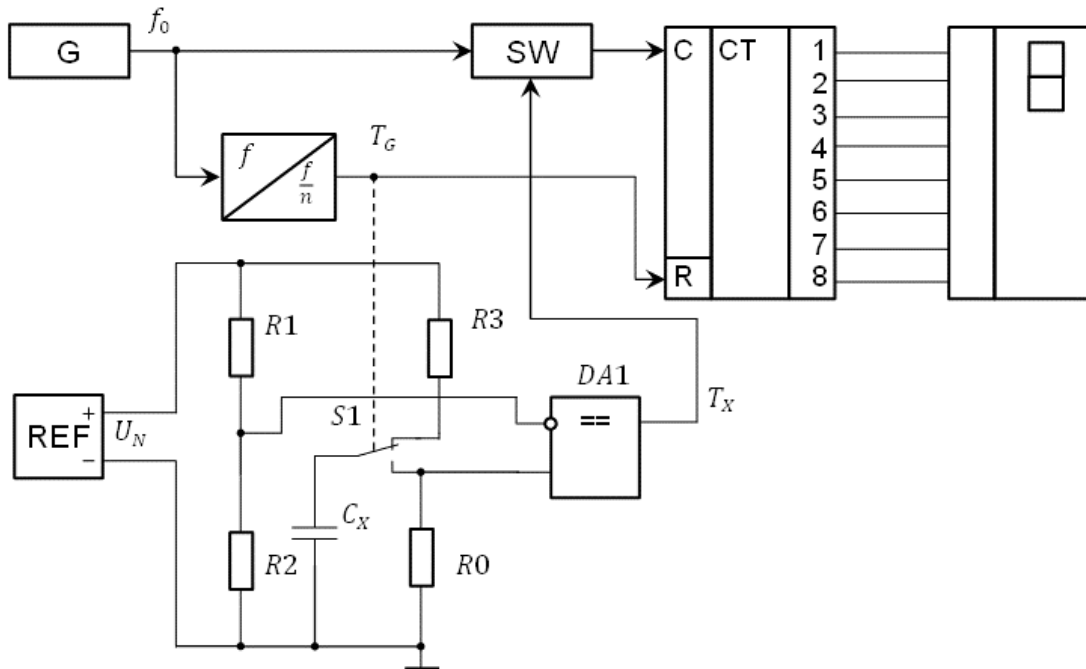


Рис. 1. Структурная схема измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта

Перед началом измерения ключ $S1$ находится в верхнем положении и конденсатор C_x заряжается через ограничительный резистор $R3$ до значения стабилизованного напряжения U_N .

В момент начала измерения производится сброс показаний счётчика импульсов CT и переключение ключа $S1$ в нижнее положение. Конденсатор начинает разряжаться через образцовый резистор $R0$ по экспоненциальному закону

$$U_C = U_N \cdot e^{-\frac{T_X}{\tau}}, \quad (1)$$

где $\tau = R0 \cdot C_x$ – постоянная времени цепи разряда.

Напряжение U_C подаётся на неинвертирующий вход компаратора $DA1$. На инвертирующий вход компаратора подаётся напряжение U_R с делителя, состоящего из резисторов $R1$ и $R2$, которое определяется выражением

$$U_R = U_N \cdot \frac{R2}{R1+R2}, \quad (2)$$

До переключения ключа $S1$ в нижнее положение напряжение на неинвертирующем входе компаратора меньше опорного напряжения U_R , поэтому на выходе компаратора напряжение соответствует состоянию логического нуля. В момент переключения ключа $S1$ в нижнее положение напряжение на неинвертирующем входе становится больше опорного напряжения, и на выходе компаратора появляется логическая единица.

По мере разряда конденсатора напряжение U_C уменьшается и через промежуток времени $T_X = \tau$ становится равным напряжению U_R . В момент равенства напряжений компаратор переключается в нулевое состояние.

Временные диаграммы сигналов схемы показаны на рис. 2.

Цикл измерения задаётся периодическим сигналом T_G .

Для обеспечения соответствия $T_X = \tau$ опорное напряжение U_R должно быть равно

$$U_R = U_C = U_N \cdot e^{-1}.$$

Следовательно, соотношение сопротивлений делителя должно определяться выражением

$$\frac{R2}{R1+R2} = e^{-1} \approx 0.368. \quad (3)$$

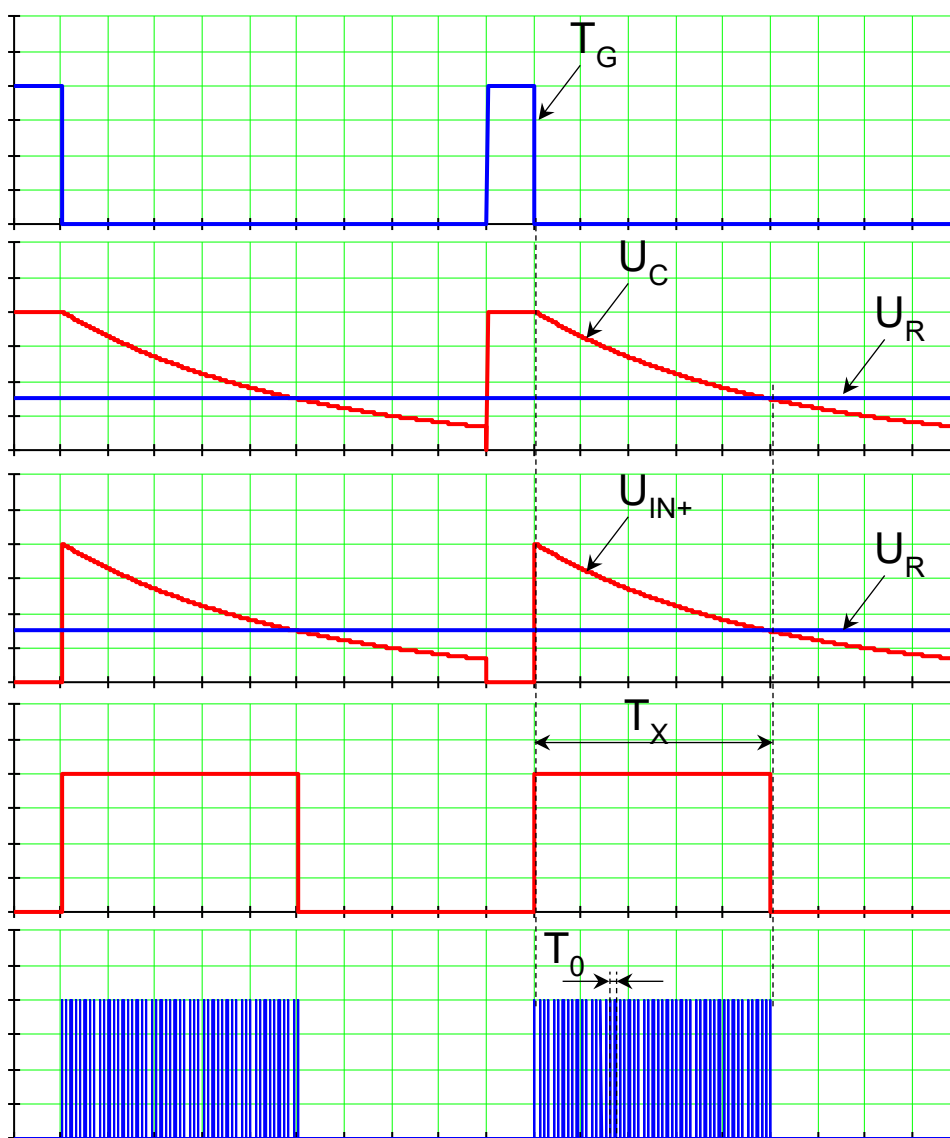


Рис. 2. Временные диаграммы сигналов измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта

Измерение интервала времени $T_X = \tau = R0 \cdot C_X$ производится путём подсчёта количества импульсов N , приходящих через ключ SW на счётчик CT от генератора G образцовой частоты $F0$.

$$N = \frac{T_X}{T_0} = F_0 \cdot R_0 \cdot C_X. \quad (4)$$

Погрешность измерения методом дискретного счёта зависит от нестабильности сопротивлений резисторов R_0, R_1, R_2 , нестабильности частоты генератора F_0 , а также неточности срабатывания компаратора $DA1$ и задержек цифрового ключа SW .

К достоинствам метода можно отнести достаточно высокую точность измерений, а также возможность измерения ёмкости поляризованных конденсаторов, т.к. в процессе измерения на конденсатор подаётся однополярное напряжение.

2.2. Макет измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта

Основная часть схемы измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта расположена на отдельном макете, рис. 3. Схема электрическая принципиальная макета и Перечень элементов приведены в Приложении 1 и Приложении 2. В Приложении 3 показан чертёж расположения элементов на макете.

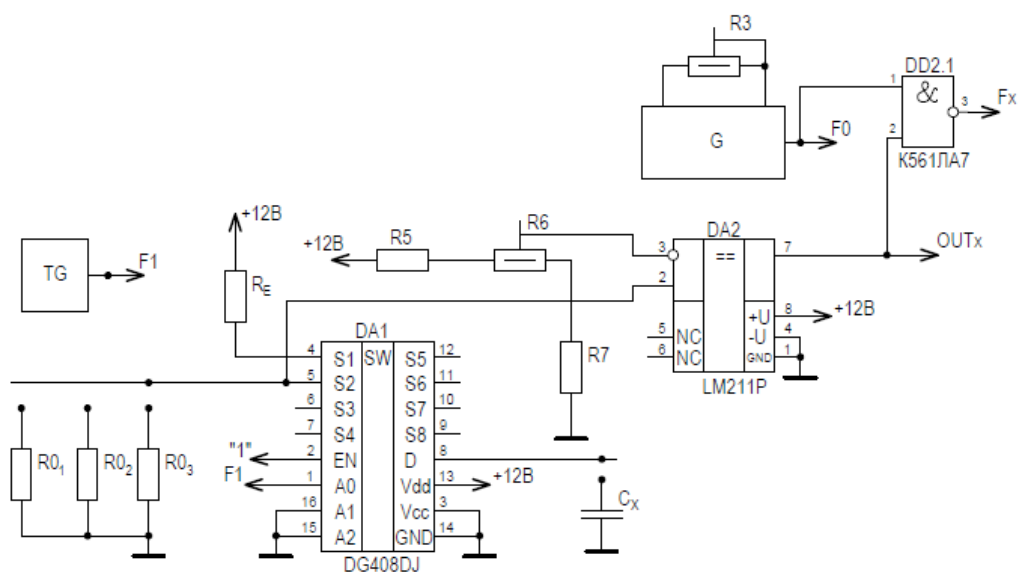


Рис. 3. Упрощённая схема макета измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта

В качестве конденсатора C_X используется один из конденсаторов $C_{X1.1} - C_{X3.6}$, что позволяет изменять электрическую ёмкость в широком диапазоне при исследовании метода дискретного счёта.

Генератор высокочастотных импульсов G выполнен на базе логических элементов $DD1.3, DD1.4$. Для подстройки частоты $F_0 = 100$ кГц используется потенциометр R_3 . Сигнал с выхода F_0 можно подключить напрямую к счётному входу CU макета счётчика импульсов, п. 2.3.

Цифровой ключ, через который поступают только те счётные импульсы, которые попадают в интервал действия импульса T_X , реализован на базе логического элемента $DD2.1$. Элемент выполняет функцию 2И-НЕ (микросхема типа $K561ЛА7$). Выходной сигнал ключа обозначен F_X .

Ключ, переключающий конденсатор C_X по очереди к одному из образцовых резисторов R_0 (R_{01}, R_{02}, R_{03}) или резистору R_E , через который производится заряд конденсатора, реализован на базе микросхемы $DA1$ типа $DG408DJ$. При подаче логической единицы на вход управления A_0 замыкается ключ между выводами D и S_2 , а при подаче логического нуля – между выводами D и S_1 .

Вспомогательный генератор TG , управляющий работой ключа $DA1$, выполнен на базе логических элементов $DD1.1, DD1.2$. Период сигнала равен 24 мс (форма сигнала – меандр).

Образцовый резистор R_0 подключен к неинвертирующему входу компаратора $DA2$ типа LM211P. На инвертирующий вход компаратора подаётся опорное напряжение U_R , формируемое делителем на основе резисторов R_5, R_6, R_7 . Потенциометр R_6 используется для подстройки напряжения при калибровке схемы.

Выходной сигнал OUT_x компаратора может быть использован для управления цифровым ключом на базе логического элемента $DD2.1$.

Кроме того, среднее значение сигнала OUT_x , прямо пропорциональное длительности импульса T_X (и следовательно ёмкости C_X) можно измерить магнитоэлектрическим вольтметром при условии калибровки амплитуды U_{max} выходного напряжения компаратора.

$$U_{cp} = \frac{T_X}{T_1} \cdot U_{max} = F1 \cdot U_{max} \cdot R_0 \cdot C_X, \quad (5)$$

где $F1 = \frac{1}{T_1}$ – частота импульсов управления ключом на базе микросхемы $DA1$.

2.3. Счётчик импульсов

Для реализации метода дискретного счёта используется счётчик импульсов с индикатором, рис. 4. Схема электрическая принципиальная макета, на котором располагается счётчик, и Перечень элементов схемы приведены в Приложении 4 и Приложении 5. В Приложении 6 показан чертёж расположения элементов на макете.

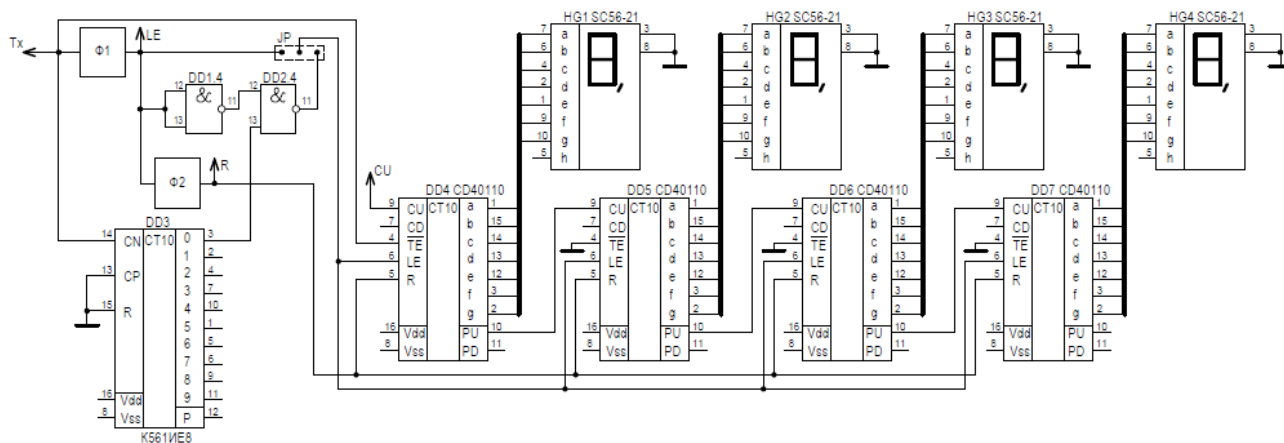


Рис. 4. Упрощённая схема макета счётчика импульсов

Сигнал T_X , длительность которого необходимо измерить счётчиком с помощью квантовых импульсов по входу CU (рисунок 2), используется для разрешения работы счётчиков.

Счётчики $DD4 - DD7$ выполнены на базе микросхем реверсивных десятичных счётчиков $CD40110$. При подаче импульсов на вход CU обеспечивается прямой счёт на повышение по положительным фронтам. Выход PU используется для каскадного соединения счётчиков. Выходы $a - g$ позволяют подключать через токоограничивающие резисторы светодиодные 7-сегментные индикаторы с общим катодом. Вход R предназначен для асинхронного сброса выходного кода (при $R = 1$). Счёт импульсов разрешён при подаче логического нуля на вход \overline{TE} . При подаче логической единицы на вход LE обеспечивается запоминание кода на выходах счётчика (при этом фиксация кода происходит независимо от режима счёта и наличия сигнала сброса).

Основные режимы работы микросхемы показаны в таблице на рисунке 5.

TRUTH TABLE

CLOCK UP *	CLOCK DOWN *	LATCH ENABLE	TOGGLE ENABLE	RESET	COUNTER	DISPLAY
	X	0	0	0	Increments by 1	Follows Counter
X		0	0	0	Decrements by 1	Follows Counter
		X	X	0	No Change	No Change
X	X	1	X	1	Goes to 00000	Remains Fixed
X	X	0	X	1	Goes to 00000	Follows Counter (Display = $\overline{0}$)
X	X	X	1	0	Inhibited	Remains Fixed
	X	1	0	0	Increments by 1	Remains Fixed
X		1	0	0	Decrements by 1	Remains Fixed

X = Don't Care

1 = High State

0 = Low State

* Typically 100 ns between clock-up and clock-down positive transitions are required to ensure proper counting.

Рис. 5. Режимы работы счётчика CD40110

Светодиодные индикаторы $HG1 - HG4$ реализованы на базе LED-индикаторов SC56-21, рисунок 6. Основные характеристики индикаторов показаны в таблице 1.

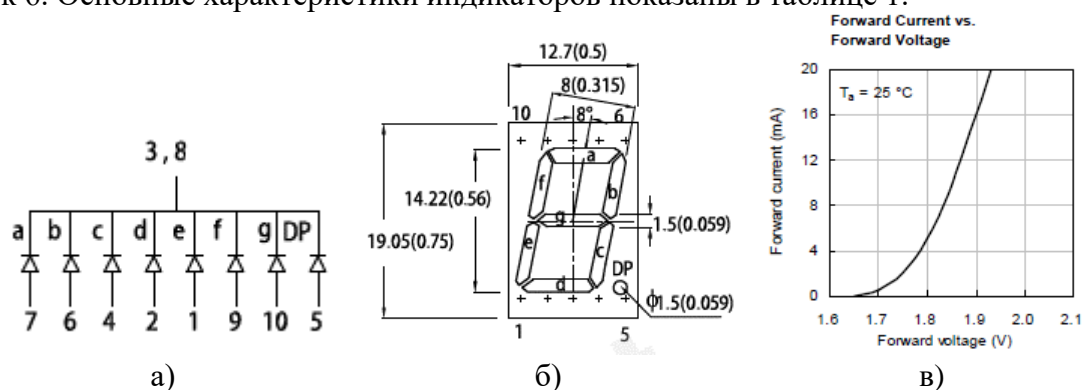


Рис. 6. Входы управления (а), внешний вид (б) и ВАХ (в) индикатора SC56-21

Таблица 1. Основные характеристики индикаторов SC56-21

Максимальная мощность P_D	75 мВт
Максимальное обратное напряжение U_R	5 В
Максимальный прямой ток $I_{F(max)}$	30 мА
Максимальный обратный ток I_R	10 мкА
Номинальное прямое напряжение при токе $I_F = 10$ мА	2.35 В
Электрическая ёмкость	35 пФ
Номинальная длина волны излучения	630 нм
Минимальная сила света при токе $I_F = 10$ мА	31 мКд

На выходе формирователя $\Phi 1$, реализованного на базе логических элементов 2И-НЕ (К561ЛА7), вырабатывается короткий импульс $LE = 0$ (длительностью 4 мкс) по заднему фронту сигнала T_X . При этом обеспечивается обновление кода на выходах микросхемы при завершении счёта. В остальное время $LE = 1$ и на выходах запоминается предыдущее состояние кода.

По переднему фронту сигнала LE , т.е. по окончанию процесса обновления кода на выходах счётчика, с помощью формирователя $\Phi 2$ обеспечивается выработка сигнала $R = 1$, который используется для сброса.

Также на макете имеется дополнительный десятичный счётчик $DD3$ типа К561ИЕ8. На одном из выходов счётчика появляется сигнал с частотой в 10 раз меньшей, чем частота сигнала на входе CN (т.е. сигнала T_X). Используя выходной сигнал счётчика для разрешения прохождения сигнала с выхода формирователя $\Phi 1$ на вход управления микросхем счётчиков LE , можно обеспечить в 10 раз меньшую скорость обновления показаний индикаторов. Сигнал разрешения подаётся на один из входов логического элемента 2И-НЕ (микросхема $DD2.4$).

Понижение скорости обновления применяется в том случае, если показания счётчика изменяются слишком быстро для восприятия. Выбор осуществляется джампером (перемычкой) JP.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В лабораторной работе используются следующие приборы:

- магазины сопротивлений P32, P33;
- магнитоэлектрический микроамперметр M2001;
- функциональный генератор сигналов SFG-2104;
- цифровой осциллограф АСК-2067;
- вольтметр универсальный цифровой В7-78/1;
- блок питания LPS-305.

Основная часть элементов схемы измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта, расположена на отдельном макете, см. п.2.2. Счётчик импульсов с индикатором расположены на другом макете, п. 2.3. Питание макетов осуществляется от источника LPS-305.

При выполнении расчётов используется пакет программ Mathcad версии 2000 и выше. Отчёты по лабораторной работе необходимо представить в формате *.doc, *.docx или *.pdf.

4. ПРОГРАММА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

- 4.1. Исследовать теоретические основы метода дискретного счёта.
- 4.2. Экспериментально исследовать измеритель ёмкости на основе метода дискретного счёта с аналоговым магнитоэлектрическим индикатором.
- 4.3. Экспериментально исследовать измеритель ёмкости на основе метода дискретного счёта с цифровым счётчиком импульсов.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 5.1. Какие элементы входят в структурную схему измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта?
- 5.2. Запишите уравнение преобразования измеряемой ёмкости в цифровой код.
- 5.3. Принцип калибровки измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта?
- 5.4. Какие факторы влияют на погрешность измерения методом дискретного счёта?
- 5.5. Каким образом можно повысить разрядность отображения результата при сохранении периода обновления показаний в измерителе ёмкости на основе метода дискретного счёта?
- 5.6. Покажите временные диаграммы сигналов измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта.

6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО ЗАДАНИЯ

ВНИМАНИЕ! Перед началом работы установите на выходе +V блока питания LPS-305 с помощью кнопки $+V_{SET}$ напряжение 12 В, а защиту по току – кнопкой $+I_{SET}$ =0.04 А.

Сборку схем на операционных усилителях рекомендуется проводить при отключенных выходах. Включить или выключить нагрузку можно нажатием на кнопку \pm OUTPUT ON/OFF.

6.1. Исследование основ метода дискретного счёта

Метод дискретного счёта предлагается исследовать на основе измерителя ёмкости. Схема подключения макета измерителя ёмкости к блоку питания показана на рис. 7. На схеме указаны цвета проводов (Red – красный, Black – чёрный), на которые подаются напряжения питания.

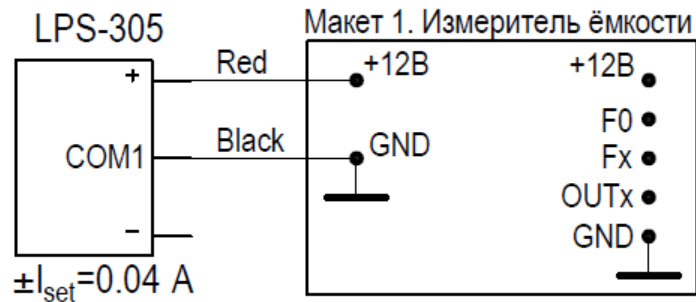


Рис. 7. Схема подключения макета измерителя ёмкости к блоку питания

Исследование производится в соответствии с заданным вариантом:

1 вариант – с образцовым резистором $R_{01} = 1 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X1.1} - C_{X1.6}$,

2 вариант – с резистором $R_{02} = 10 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X2.1} - C_{X2.6}$,

3 вариант – с резистором $R_{03} = 100 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X3.1} - C_{X3.6}$.

Подключить перемычкой образцовый резистор R_0 ко входу S_2 коммутатора $DA1$ (вывод 5 микросхемы DG408).

Ко входу D (вывод 8) подключить конденсатор C_{X*1} (* – по варианту).

С помощью цифрового осциллографа АСК-2067 записать и показать в отчёте взаимные временные диаграммы сигналов макета. Рекомендуется на вход CH1 осциллографа подать сигнал F_1 генератора, задающего цикл измерений. Синхронизацию осциллографа настроить от данного сигнала (в меню Trig.). Вход CH2 осциллографа по очереди подключить к контрольным точкам макета:

- ко входам и выходу $OUTx$ компаратора $DA2$,
- ко входу D (вывод 8) микросхемы коммутатора $DA1$,
- к выходу F_0 генератора образцовых импульсов,
- к выходу F_x (вывод 3 микросхемы логического элемента $DD2.1$).

Сравнить полученные временные диаграммы сигналов с теоретическими данными, п.2.1.

6.2. Исследование измерителя ёмкости с магнитоэлектрическим индикатором

Измеритель ёмкости собирается на основе Макета 1 и микроамперметра M2001, рис. 8.

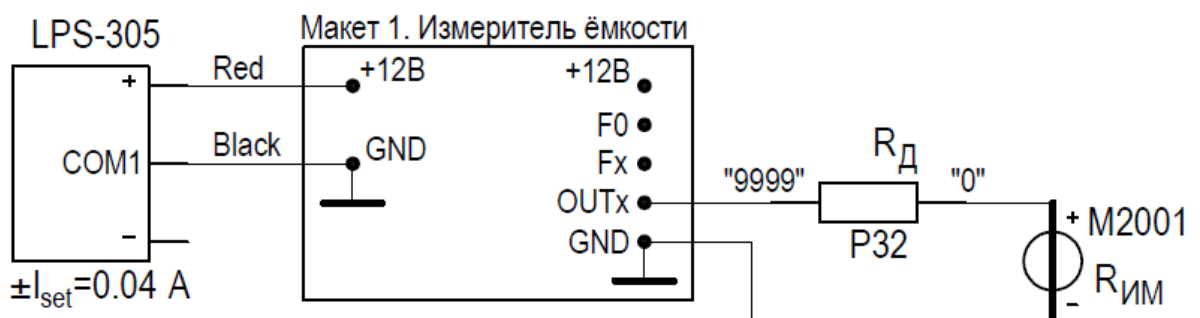


Рис. 8. Схема измерителя ёмкости с индикатором на основе микроамперметра M2001

Исследование производится в соответствии с заданным вариантом:

1 вариант – с образцовым резистором $R_{01} = 1 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X1.1} - C_{X1.6}$,

2 вариант – с резистором $R_{02} = 10 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X2.1} - C_{X2.6}$,

3 вариант – с резистором $R_{03} = 100 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X3.1} - C_{X3.6}$.

Определение параметров элементов

До подключения элементов измерить сопротивление R_0 цифровым омметром В7-78/1, а ёмкость $C_{X*1} - C_{X*6}$ (* – по варианту) – с помощью RLC-метра Е7-22. Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2. Параметры компонентов

R_0	C_{X*1}	C_{X*2}	C_{X*3}	C_{X*4}	C_{X*5}	C_{X*6}

Калибровка сигналов макета

С помощью вольтметра В7-78/1 провести калибровку напряжения U_R на инвертирующем входе компаратора $DA2$. Предварительно измерить точное значение напряжения питания +12 В, которое используется в качестве опорного напряжения U_N . Напряжение на входе компаратора должно быть равно

$$U_R = U_N \cdot e^{-1}. \quad (6)$$

При необходимости произвести подстройку напряжения U_R подстроечным резистором R_6 .

Подключить цифровой вольтметр В7-78/1 в режиме частотомера к выходу F_0 генератора образцовых импульсов и произвести калибровку частоты сигнала $F_0 = 100$ кГц. Подстройка частоты производится резистором R_3 .

Подключить цифровой вольтметр В7-78/1 в режиме периодомера к выходу F_1 генератора TG , управляющего работой ключа $DA1$, и произвести калибровку периода сигнала $T_1 = 5$ мс. Подстройка периода производится резистором R_1 .

Поскольку среднее значение U_{cp} выходного сигнала $OUTx$ компаратора определяется выражением (5), то для обеспечения предела измерения ёмкости $C_{X(max)} = C_{X*1}$ необходимо, чтобы

$$U_{cp(max)} = \frac{T_X}{T_1} \cdot U_{max} = \frac{U_{max} \cdot R_0}{T_1} \cdot C_{X(max)}. \quad (7)$$

Поскольку амплитуда сигнала на выходе компаратора $DA2$ примерно равна $U_{max} \approx +12$ В, а период $T_1 \approx 5$ мс обеспечивается соответствие

$$U_{cp(max)} = \frac{12 \cdot R_0}{5 \cdot 10^{-3}} \cdot C_{X(max)}. \quad (8)$$

Неточность напряжения U_{max} и сопротивления резистора R_0 может быть компенсирована подстройкой периода T_1 или схемы обработки выходного сигнала компаратора.

Номинальные пределы измерения $C_{X(max)}$ равны 1 мкФ, 100 нФ и 10 нФ для вариантов 1, 2 и 3 соответственно.

Определение параметров микроамперметра

По лицевой панели необходимо определить предел измерения $I_{IM(max)}$ микроамперметра М2001: в лаборатории используются приборы с пределами 100 и 200 мкА.

Для определения сопротивления R_{IM} магнитоэлектрического измерительного механизма М2001 необходимо собрать схему, показанную на рис. 9.

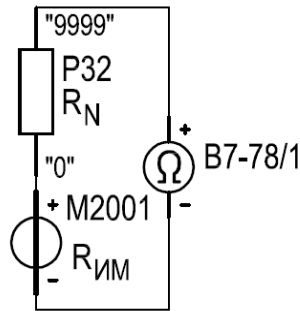


Рис. 9. Измерение сопротивления механизма М2001

Вольтметр В7-78/1 необходимо перевести в режим омметра и измерить суммарное сопротивление цепи R_{Σ} . **Особое внимание следует обратить на полярность** подключения омметра и магнитоэлектрического механизма (полярность входных клемм механизма указана на обратной стороне, рис. 10.б).

Без дополнительного резистора R_N ток через механизм М2001 будет больше, чем предел измерения, поскольку тестовый ток омметра В7-78/1 в этом случае равен 1 мА.



Рис. 10. Магнитоэлектрический механизм М2001 (а, б) и магазин сопротивлений Р32 (в)

В качестве образцового резистора R_N использовать магазин сопротивлений Р32 (или Р33), рис. 10.в. Клеммы магазина показаны символами «0» и «9999» (для магазина Р33 «99999»). Необходимо выставить сопротивление $R_N = 8$ кОм.

Значение $R_{ИМ}$ определяется разностью

$$R_{ИМ} = R_{\Sigma} - R_N. \quad (7)$$

Рассчитать сопротивление добавочного резистора R_D , необходимое для обеспечения предела измерения $U_{ср(max)}$ вольтметра на основе микроамперметра М2001, в соответствии с выражением (8).

В качестве добавочного резистора R_D использовать магазин сопротивлений Р32 (или Р33), рис. 10.в.

$$R_D = R_{ИМ} \cdot \left(\frac{U_{ср(max)}}{I_{ИМ(max)} \cdot R_{ИМ}} - 1 \right). \quad (8)$$

Исследование измерителя ёмкости

Подключить переключкой образцовый резистор R_0 ко входу S_2 коммутатора $DA1$ (вывод 5 микросхемы DG408).

Ко входу D (вывод 8) поочерёдно подключить конденсаторы $C_{X*1} - C_{X*6}$ (* – по варианту) и определить показания магнитоэлектрического микроамперметра М2001. В данном случае предельному значению показаний микроамперметра соответствует

номинальный предел измерения ёмкости $C_{X(max)} = 1 \text{ мкФ}, 100 \text{ нФ}$ и 10 нФ для варианта 1, 2 и 3 соответственно

Действительные значения ёмкости $C_{N*1} - C_{N*6}$ были определены ранее с помощью образцового RLC-метра E7-22, таблица 2.

Рассчитать приведённые погрешности γ , в соответствии с которыми установить класс точности измерителя ёмкости с магнитоэлектрическим индикатором.

Приведённая погрешность определяется выражением

$$\gamma = \frac{C_{X*} - C_{N*}}{C_{X(max)}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где C_{N*} – действительное значение ёмкости (показания образцового прибора); C_{X*} – показания испытуемого прибора; $\Delta C = C_{X*} - C_{N*}$ – абсолютная погрешность измерения; $C_{X(max)}$ – предел измерения.

Результаты измерений и расчётов записать в таблицу 3.

Таблица 3.

№	C_{X*}	C_{X*}	C_{N*}	ΔC	$\gamma, \%$
1	$C_{X*1} = C_{X(max)}$				
2	C_{X*2}				
3	C_{X*3}				
4	C_{X*4}				
5	C_{X*5}				
6	C_{X*6}				

6.3. Исследование измерителя ёмкости с цифровым счётчиком импульсов

Измеритель ёмкости на основе метода дискретного счёта собирается на основе Макета 1 (Измеритель ёмкости) и Макета 2 (Счётчик импульсов), рис. 11.

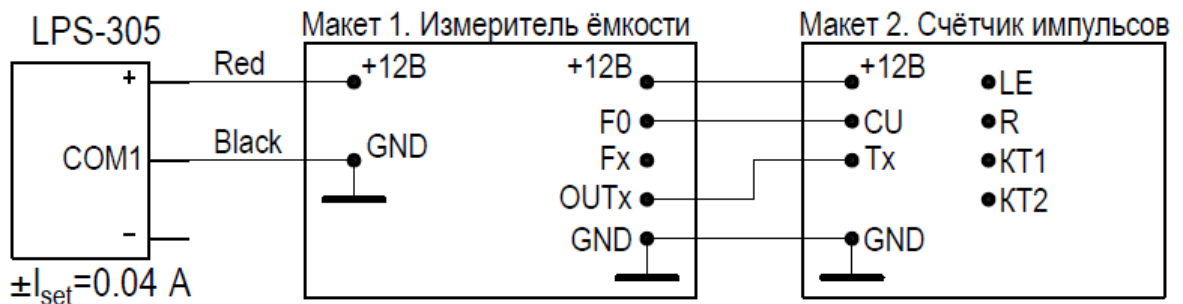


Рис. 11. Схема измерителя ёмкости на основе метода дискретного счёта

Исследование производится в соответствии с заданным вариантом:

1 вариант – с образцовым резистором $R_{01} = 1 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X1.1} - C_{X1.6}$,

2 вариант – с резистором $R_{02} = 10 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X2.1} - C_{X2.6}$,

3 вариант – с резистором $R_{03} = 100 \text{ кОм}$ и конденсаторами $C_{X3.1} - C_{X3.6}$.

Если п. 6.3 выполняется с большим перерывом после предыдущего раздела, то необходимо повторить пункт **Калибровка сигналов макета** п. 6.2.

Исследование временных диаграмм счётчика

Подключить переключкой образцовый резистор R_0 ко входу S_2 коммутатора $DA1$ (вывод 5 микросхемы DG408).

Ко входу D (вывод 8) подключить конденсатор C_{X*1} (* – по варианту).

С помощью цифрового осциллографа АСК-2067 записать и добавить в отчёт взаимные временные диаграммы сигналов макета счётчика импульсов относительно сигналов макета измерителя ёмкости.

Рекомендуется на вход СН1 осциллографа АСК-2067 подать сигнал T_X . Синхронизацию осциллографа настроить от данного сигнала (в меню Trig.). Вход СН2 осциллографа по очереди подключить к контрольным точкам Макета 2. Счётчика импульсов: $LE, R, KT1, KT2$.

Определение показаний измерителя ёмкости с цифровым счётчиком

Ко входу D (вывод 8) поочередно подключить конденсаторы $C_{X*1} - C_{X*6}$ (* – по варианту) и определить показания счётчика импульсов.

Действительные значения ёмкости $C_{N*1} - C_{N*6}$ были определены ранее с помощью образцового RLC-метра Е7-22, таблица 2.

Рассчитать приведённые погрешности γ , в соответствии с которыми установить класс точности измерителя ёмкости.

Приведённая погрешность определяется выражением (9).

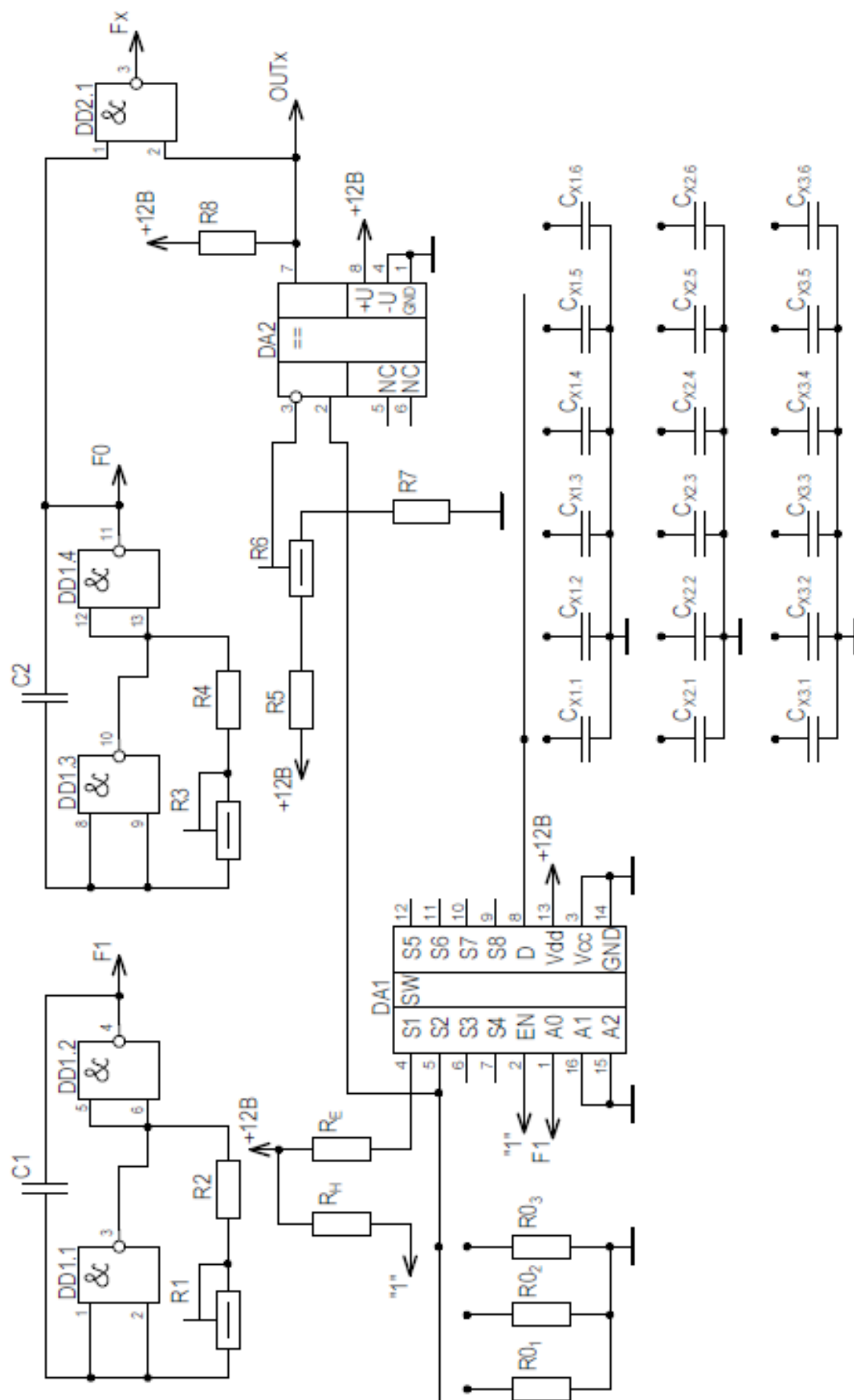
Результаты измерений и расчётов записать в таблицу 4.

Таблица 4.

№	C_{X*}	C_{X*}	C_{N*}	ΔC	$\gamma, \%$
1	C_{X*1}				
2	C_{X*2}				
3	C_{X*3}				
4	C_{X*4}				
5	C_{X*5}				
6	C_{X*6}				

7. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

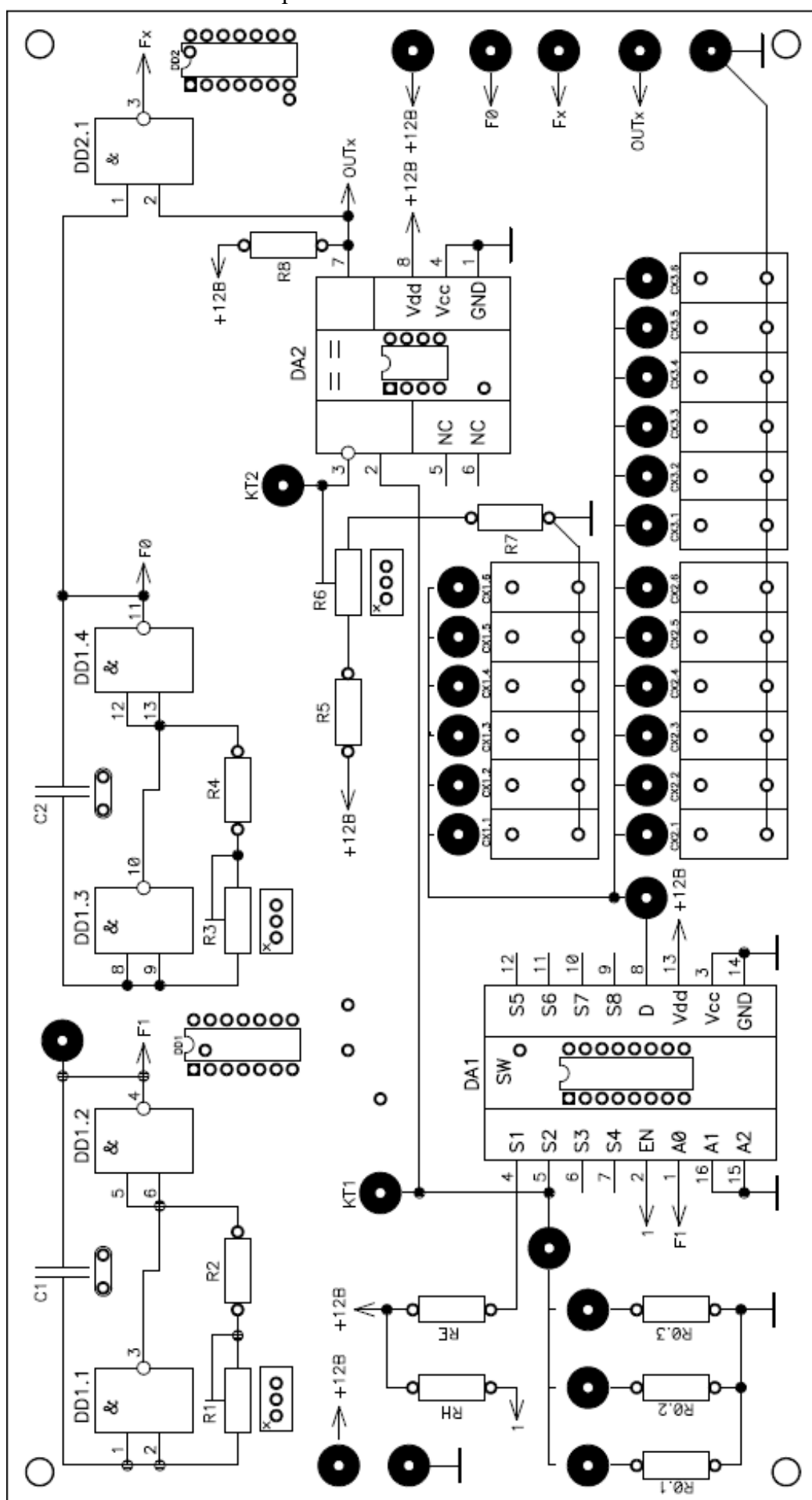
1. Шишмарев В.Ю. Технические измерения и приборы: учебник для вузов – 2-е изд. – М.: Академия, 2012. – 384 с.
2. Панфилов В.А. Электрические измерения. – 8-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 288 с.
3. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учебное пособие для вузов. – 8-е изд. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2010. – 704 с.
4. Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы: аналоговые и цифровые. – К.: Вища школа, 1986. - 503 с.
5. Электрические измерения. / Под ред. А.В. Фремке, Е.М. Душина. - Л.: Энергия, 1980. – 392 с.
6. Атамаян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. – М.: Дрофа, 2005. – 405 с.
7. Измерения в электронике: справочник/ Под ред. В.А. Кузнецова.- М.: Энергоатомиздат, 1987. - 512 с.
8. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника в 2 т. Т.1 – М.: ДМК Пресс, 2015. – 828 с.
9. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника в 2 т. Т.2 – М.: ДМК Пресс, 2015. – 942 с.
10. Гутников В.С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 303 с.



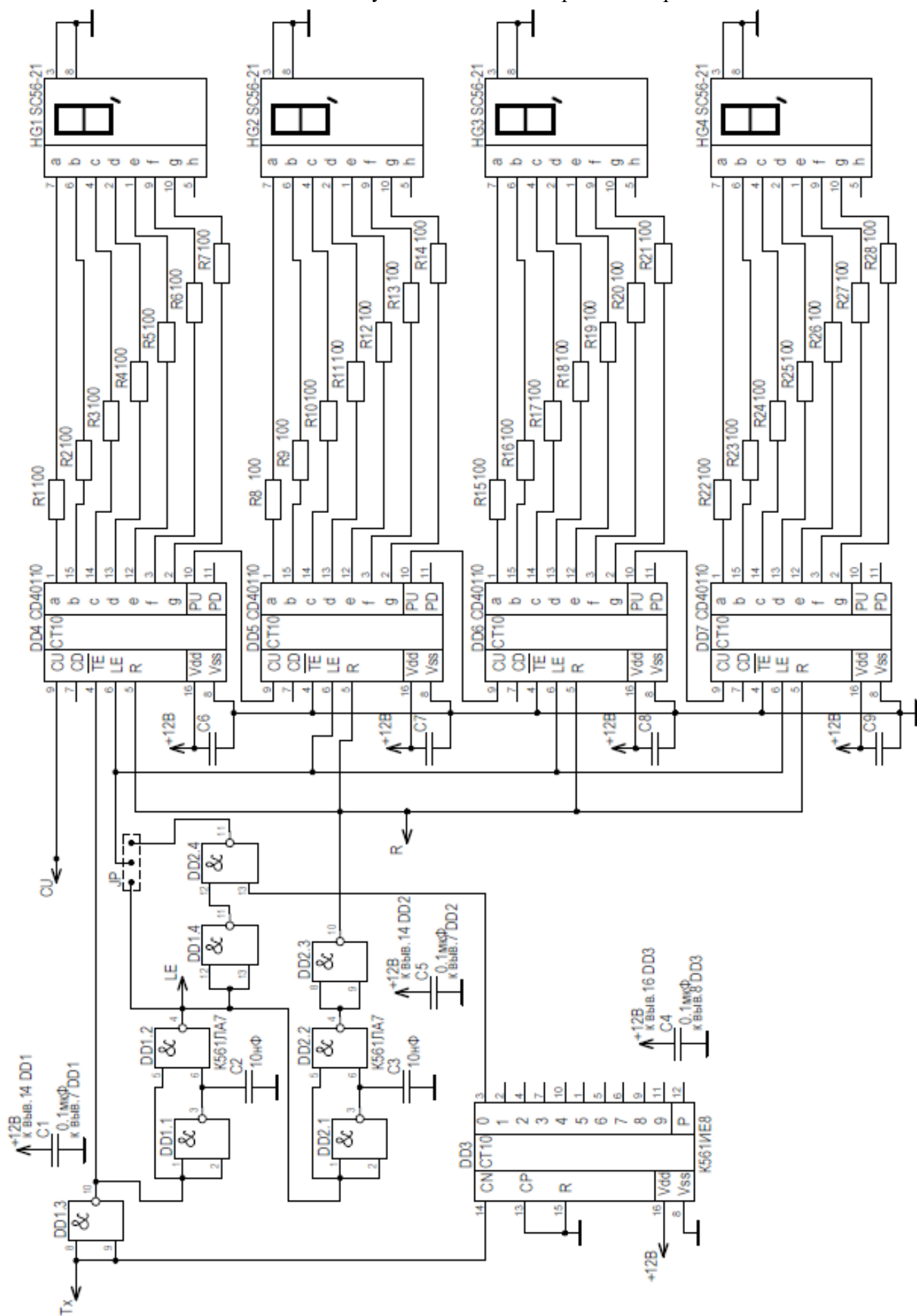
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Макет измерителя ёмкости. Перечень элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Конденсаторы</u>		
C1	K10-176-50B-22 нФ±5%	1	
C2	K10-176-50B-1 нФ±5%	1	
C _{X1.1}	K73-17-100B-1 мкФ±5%	1	
C _{X1.2}	K73-17-100B-0.68 мкФ±5%	1	
C _{X1.3}	K73-17-100B-0.47 мкФ±5%	1	
C _{X1.4}	K73-17-100B-0.33 мкФ±5%	1	
C _{X1.5}	K73-17-100B-0.22 мкФ±5%	1	
C _{X1.6}	K73-17-100B-0.15 мкФ±5%	1	
C _{X2.1}	K73-17-100B-0.1 мкФ±5%	1	
C _{X2.2}	K73-17-100B-0.068 мкФ±5%	1	
C _{X2.3}	K73-17-100B-0.047 мкФ±5%	1	
C _{X2.4}	K73-17-100B-0.033 мкФ±5%	1	
C _{X2.5}	K73-17-100B-0.022 мкФ±5%	1	
C _{X2.6}	K73-17-100B-0.015 мкФ±5%	1	
C _{X3.1}	K73-17-100B-10 нФ±5%	1	
C _{X3.2}	K73-17-100B-6.8 нФ±5%	1	
C _{X3.3}	K73-17-100B-4.7 нФ±5%	1	
C _{X3.4}	K73-17-100B-3.3 нФ±5%	1	
C _{X3.5}	K73-17-100B-2.2 нФ±5%	1	
C _{X3.6}	K73-17-100B-1.5 нФ±5%	1	
	<u>Микросхемы</u>		
DA1	Коммутатор DG408DJ	1	
DA2	Компаратор LM211P	1	
DD1, DD2	Логический элемент K561ЛА7	2	CD4011BE
	<u>Резисторы</u>		
R1	Потенциометр 3296W-1 Вт-500 кОм±10%	1	
R2	MF-25-0.25 Вт-100 кОм±1%	1	
R3	Потенциометр 3296W-1 Вт-5 кОм±10%	1	

R4	MF-25-0.25 ВТ-1.5 кОм±1%	1	
R5	MF-25-0.25 ВТ-10 кОм±1%	1	
R6	Потенциометр 3296W-1 ВТ-1 кОм±10%	1	
R7	MF-25-0.25 ВТ-5.6 кОм±1%	1	
R8	MF-25-0.25 ВТ-1 кОм±1%	1	
R0 ₁	MF-25-0.25 ВТ-1 кОм±1%	1	
R0 ₂	MF-25-0.25 ВТ-10 кОм±1%	1	
R0 ₃	MF-25-0.25 ВТ-100 кОм±1%	1	
R _H	MF-25-0.25 ВТ-10 кОм±1%	1	
R _E	MF-25-0.25 ВТ-10 Ом±1%	1	

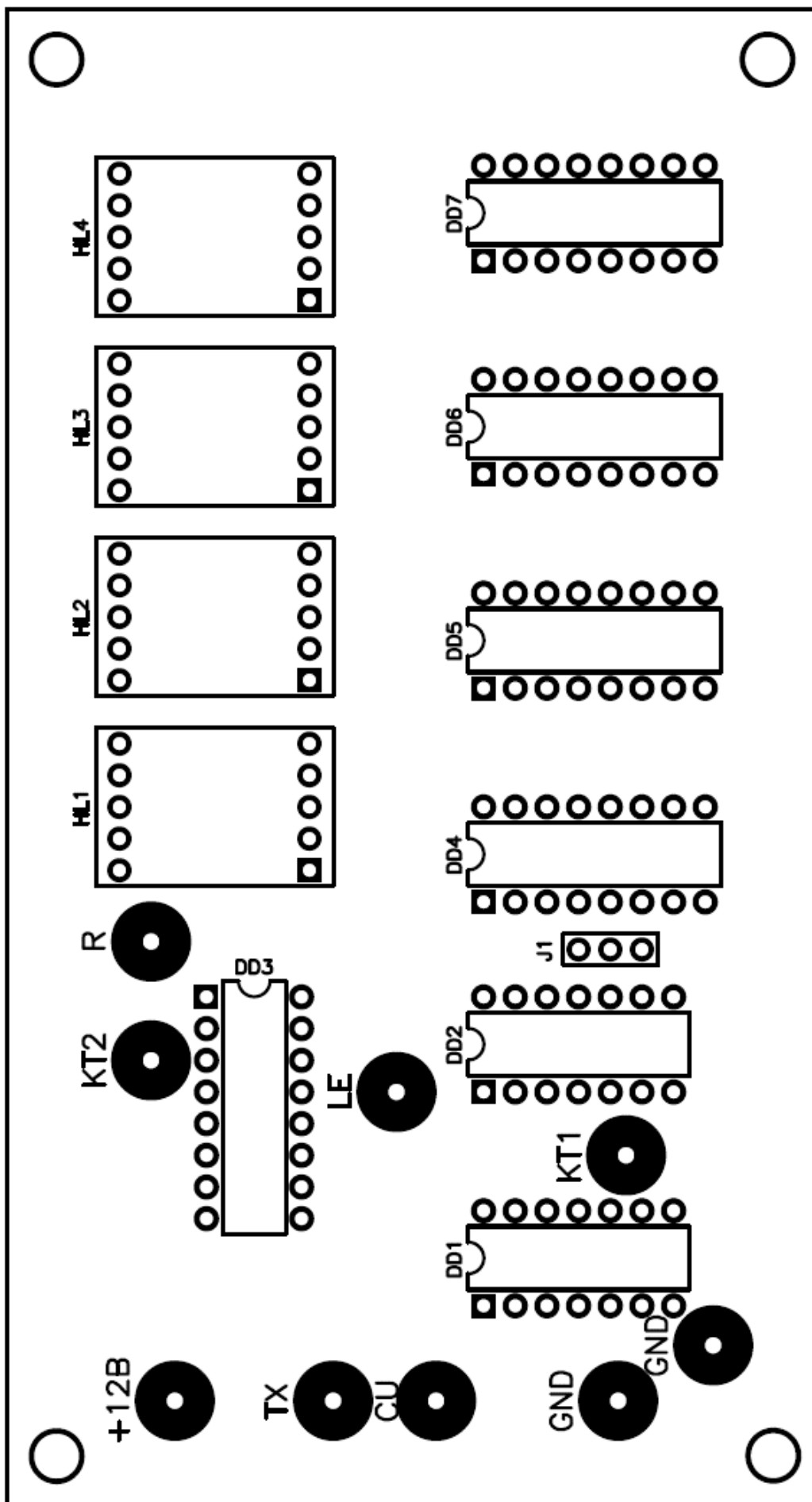


ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Счётчик импульсов. Схема электрическая принципиальная



ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Счётчик импульсов. Перечень элементов

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примечание
	<u>Конденсаторы</u>		
C1	GRM21-50B-0.1 мкФ±10%	1	GRM21X7R104K50
C2, C3	GRM21-50B-10 нФ±10%	2	GRM21BR72E103K
C4 – C9	GRM21-50B-0.1 мкФ±10%	6	GRM21X7R104K50
	<u>Микросхемы</u>		
DD1, DD2	Логический элемент К561ЛА7	2	CD4011BE
DD3	Счётчик К561ИЕ8	1	CD4017BE
DD4 – DD7	Счётчик CD40110	4	
HG1 – HG4	Индикатор SC56-21	4	SC56-11
JP	Джампер MJ-0-6 и штырьевой разъём PLS-3	1	
	<u>Резисторы</u>		
R1 – R28	RC0805-0.125 Вт-100 Ом±1%	28	



ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЁМКОСТИ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНОГО СЧЁТА

Методические указания
по выполнению лабораторной работы №6
по курсу «Основы измерительной техники»

Составитель Якимов Евгений Валерьевич