

проф. к.т.н. Иван Ил. Стоянов, гл. ас. Димитър Г. Тодоров,
ст.ас. Огнян Н. Маринов, ст. ас. к.т.н. Марин Б. Маринов,
ас. Ангел В. Марков, н.с. Николай П. Братанов

РЪКОВОДСТВО

ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО
ИЗМЕРВАНИЯ В ЕЛЕКТРОНИКАТА

ПОД РЕДАКЦИЯТА НА
ПРОФ. К.Т.Н. ИВАН ИЛ. СТОЯНОВ

Ръководството обхваща 10 теми за лабораторни занятия. Описани са методите за измерване на основни електрически величини и параметри на електронни елементи и електрически вериги.

В тях са описани основни методи и съответните електронни средства за измерване на параметрите на електрически сигнали, елементи и вериги. Регламентирани са съответните способности за съставяне на опитни постановки и са дадени указания както за работа със съответните технически средства, така и за технологията, по която се провеждат експериментите и се оформят получените резултати.

Ръководството е предназначено за студентите от специалностите "Електронна техника и микроелектроника" и "Изчислителна техника" на Технически университет - София, но може да се ползва и други сходни специалности в страната.

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод и общи указания за провеждане на лабораторните занятия.....	4
I. Статистическа оценка на точността на електронно-измервателната апаратура.....	7
II. Електромагнитно-лъчев осцилоскоп.....	11
III. Изследване на RC-генератори.....	22
IV. Изследване на функционални генератори.....	32
V. Аналогово измерване на напрежение.....	42
VI. Цифрови мултиметри.....	51
VII. Аналогово измерване на честота и фазови разлики.....	60
VIII. Цифрово измерване на честота и фазови разлики. Универсални броячи.....	70
IX. Измерване на RLCZ-параметри.....	77
X. Компютърен анализатор на електронни елементи.....	91
Литература.....	99

УВОД

Ръководството за лабораторни упражнения е предназначено за дисциплините "Измервания в електрониката" и "Измервания в изчислителната техника", за студентите от специалности "Електронна техника" и "Изчислителна техника" на Технически университет - София. Тематиката на лабораторните упражнения обхваща:

- * методи за оценка на точността;
- * аналогови и цифрови уреди за генериране на електрически сигнали и измерване на параметрите им - напрежение, ток, честота, фазови разлики, нелинейни искривявания и др.;
- * аналогови и цифрови уреди за тестване на елементната база на електрониката-резистори, кондензатори, бобини, диоди, транзистори и др.;

Проведането на лабораторните занятия преследва следните цели:

- * затвърждава основни теоретични постановки свързани с методите на измерване и организация на експерименталната дейност;
- * запознава със схемни реализации на измервателни уреди и устройства и конструктивно технологични особености при тяхната физическа реализация;
- * способствува за придобиване на практически знания и умения за работа с електронно-измервателна апаратура, изследване на нелинейните характеристики и начин за оформяне на получените резултати.

В разработката на специализираните измервателни уреди изграждащи лабораторната база за провеждане на занятията са участвували: проф. к.т.н.Ив. Стоянов, гл. ас. Д. Тодоров, н.с. Р. Стайнов, ст. ас. О. Маринов, н.с. Н. Братанов.

ОБЩИ УКАЗАНИЯ ЗА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЛАБОРАТОРНИТЕ ЗАНЯТИЯ И
ОФОРМЯНЕ НА ПРОТОКОЛИТЕ

1. Предварителна подготовка.

Студентите се допускат до работа в лабораторната зала при следните две условия:

- * изработен протокол от предишното занятие;
- * предварителна подготовка за настоящето занятие относно: устройството и принципа на действие на изследвания измервателен уред; същността на характеристиките определящи неговите качества и методи за тяхното изследване; схеми на измервателните постановки и изисквания към използваните измервателни уреди и приспособления.

2. Ред за провеждане на лабораторните занятия и текущия контрол.

В първото занятие асистентът провежда кратък инструктаж по техника на безопасността и правилника за реда в лабораторията. При провеждане на лабораторните упражнения се спазват следните основни правила:

- Студентите разучават лабораторния пакет, наличната измервателна апаратура и свързват съответната опитна постановка.
- Включването под напрежение на измервателните уреди се извършва от асистента-ръководител на лабораторното занятие.
- Всички получени резултати се коментират съвместно с асистента. Експерименталната част се счита за приключена след даване на неговото съгласие.

3. Контрол на подготовката и оценка на знанията.

Контролът на подготовката и оценката на знанията за всяка тема се осъществяват на два етапа: при предварителното препитване и при предаване на протоколите от изработеното лабораторно упражнение.

4. Указания за оформяне на протокол.

Протоколите от изработените упражнения трябва да имат заглавна част и основни точки със съдържание както е описано по долу:

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ		
Катедра: "Електронна техника" Дисциплина:		
Име:	Фак.№.	
Специалност:	Група:	
Дата:	Ръководител:	Оценка:

УПРАЖНЕНИЕ №...

Тема:.....

1. Задание:

Записват се задачите за изпълнение зададени в ръководството за лабораторни упражнения и допълнителните задания от ръководителя на упражнението.

2. Теоретична част:

В теоретичната част се отразяват основните теоретични постановки, методи и формули, използвани в лабораторното упражнение.

3. Експериментална част:

Изчертават се структурни, електрически и други схеми на опитните постановки, указани от ръководителя на лабораторното упражнение.

4. Резултати от измерванията и анализа на получените резултати:

Резултатите от изпитанията се оформят в таблици и се изчертават съответни графични зависимости. На базата на получените графични и таблични резултати се прави анализ на метрологичното състояние на изследвания обект и на използваните методи за изследване.

1. СТАТИСТИЧЕСКА ОЦЕНКА НА ТОЧНОСТТА НА ЕЛЕКТРОННО-ИЗМЕРВАТЕЛНА АПАРАТУРА

1. Цел на лабораторното упражнение.

Целта на лабораторното упражнение е да научи студентите да изследват метрологичните характеристики на електронно-измервателната апаратура и да определят невягте системни и случайни грешки.

2. Необходима техническа окомплектовка.

Функционален генератор / 100 НЗ – 100 кНЗ /;

Цифров честотомер / ± 30 МНЗ; основна грешка $\leq 1.10E-6$ /;

Свързващи кабели: коаксиален кабел BNC 50 Ω , 0,7 м – 1 бр.

Персонален компютър Пранец 16 с монитор, клавиатура и минимум едно флопийско устройство; оперативна памет > 256 кВ; печаташо устройство; дискета 5.25" с DOS, STD (програма за създаване на файл с данни за статистическа обработка) и STATI (програма за статистическа обработка на данни от измервания).

3. Задачи за изпълнение

3.1. Да се изследва нестабилността на зададена честота за функционален генератор.

Изследването се осъществява в следната последователност:

1.) Създава се схема на опитна постановка съгласно фиг. 1.1.



фиг. 1.1.

2.)Задава се честота на генериране на функционалния генератор, гзад. (приблизително 10 кНз). Установява се подходяща база време за цифровия честотомер, така че измерваните резултати да се отчетат с разрядност ≥ 5 цифри. Снемат се 40 последователни отчета (f_1) за честотата от цифровата индикация на честотомератриет за образцов и резултатите се нанасят както е показано в таблица 1.1.

Таблица 1.1. Експериментални резултати от 40 на броя равностойни измервания на честота с универсален честотомер.

№	1	2	3	4	5	.....	38	39	40
f _i [Hz]						.....		

3.) Изчисляват се средната стойност (f_{ср.}), системната грешка (Δf_{сист.}) и средно-квадратичната грешка (σ) на функционалния генератор въз основа на първите 20 резултата на измерванията.

$$(1.1.) f_{ср.} = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} f_i$$

$$(1.2.) \Delta f_{сист.} = f_{ср.} - f_{зад.} \text{ [Hz]}; \delta f_{сист.} = (\Delta f_{сист.} / f_{ср.}) \cdot 100 \text{ [\%]}$$

$$(1.3.) \sigma^2 = \pm \frac{\sum \Delta f_i^2}{n - 1} \text{ [Hz]}; \text{отн.} = \frac{\sigma}{f_{ср.}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

Резултатите се нанасят както е показано в Таблица 1.2.

Таблица 1.2.

№	1	2	3	4	5	.....	18	19	20
f _i [Hz]						.....		
Δf _i = f _i - f _{ср.} [Hz]						.....		
Δ f _i ² [Hz ²]						.....		

4.) За определените по горе систематична и средноквадратична грешка на функционалния генератор се оценява точността за един отчет на генерираната честота по следния начин:

а) избира се доверителна вероятност (P_{дов.}) от Таблица 1.3. (препоръчват се стойности P_{дов.} = 0.5; 0.68; 0.997) и се отчита съответната нормирана стойност на грешката (t = Δf/σ);

Таблица 1.3

P _{дов.}	0.1	0.3	0.5	0.68	0.90	0.997
t = Δf _{дов.} / σ	0.126	0.385	0.674	1	1.645	3

б) изчислява се доверителния интервал на грешката за съответните доверителни вероятности - Δf_{дов.} = σ · t и се определят доверителните граници, в които може да се намира единичния отчет:

$$f_{дов. min} = f_{ср.} - \Delta f_{дов.} \quad f_{дов. max} = f_{ср.} + \Delta f_{дов.}$$

5.) Намира се средно-квадратичната грешка на средната стойност.

$$(1.4.) \sigma_{ср.} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \text{ [Hz]}; \quad \sigma_{ср. отн.} = \frac{\sigma_{ср.}}{f_{ср.}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

Аналогично на описаното в т. 4. се определят доверителния интервал на грешката и доверителните граници на измерената средна стойност за съответните доверителни вероятности по формулите:

$$(1.5.) \Delta f_{ср. дов.} = \sigma_{ср.} \cdot t;$$

$$f_{ср. дов. min} = f_{ср.} - \Delta f_{ср. дов.}; \quad f_{ср. дов. max} = f_{ср.} + \Delta f_{ср. дов.}$$

Получените резултати се нанасят в таблица 1.4.

Таблица 1.4

P _{дов.}	0.5	0.68	0.90	0.997
Δf _{дов.} [Hz]				
f _{дов. min.} [Hz]				
f _{дов. max.} [Hz]				
Δf _{ср. дов.} [Hz]				
f _{ср. дов. min.} [Hz]				
f _{ср. дов. max.} [Hz]				

3.2. С помощта на компютърна система за статистически анализ да се изследва нестабилността на зададена честотата за функционален генератор.

Използва се инструкцията за работа с автоматизираната система за статистическа обработка на данни и се решават следните задачи:

1.) Въведат се чрез програмата STD първите 20 резултата от таблица 1.1. Посредством програмата STAT1 се изчисляват средната стойност (f_{ср.}), системната грешка (Δf_{сист.}) и средно-квадратичната грешка (σ) и се записват. Сравняват се резултатите с тези, които са получени при ръчна обработка на данните.

2.) Допълват се посредством програмата STD останалите отчетни стойности от Табл. 1.1. С помощта на програмата STATI се начертава хистограма и се отчитат параметрите характеризиращи точността на единичното и многократно проведени измервания с уреда на дадена величина ($f_{ср.}$; $\Delta f_{дов.}$; $f_{дов.}$; $\Delta f_{ср. дов.}$; $f_{ср. дов.}$; σ ; $\sigma_{ср.}$).

4. Контролни въпроси.

1.) Опишете опитната постановка за статистическо изследване на точността на електронно-измервателна апаратура! Кой параметър се изследва?

2.) Каква е разликата между средната стойност и математическото очакване? При какви две условия средната стойност се доближава по-плътнo до истинската стойност на измерваната величина?

3.) Начертайте примерни функции на плътността на разпределение за различни стойности на средно-квадратичното отклонение σ ! Как се отразява върху техния вид броят на проведените измервания?

4.) Какъв е смисълът на доверителните вероятности при единични и многократно измервания?

5.) При какви условия на измерване и оценка на точността може да се определи систематичната грешка?

II. ЕЛЕКТРОННОЛЪЧЕВ ОСЦИЛОСКОП

1. Цел на упражнението.

Целта на упражнението е студентите да се запознаят с характеристиките, параметрите и основните функционални блокове на електроннолъчевите осцилоскопи, както и с начините за метрологичната им проверка.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на упражнението е необходима следната техническа окомплектовка:

2.1. Електроннолъчев осцилоскоп - двуканален със следните характеристики:

параметри на канал Y за вертикално отклонение:

-чувствителност - 0,01-1V/деление, в отношение 1:2:5;

-грешка \leq (3% от чувствителността + 3% от стойността на изследваното напрежение);

-честотна лента \geq 10 MHz, на ниво -3 dB;

параметри на канал X за хоризонтално отклонение:

-развивка - линейна, вътрешна, външна;

-база (машаб) на времето - 0,1 μ s/дел., -0,1 μ s/дел.;

-грешка на базата за времето \leq 5%

2.2. Генератор за синусоидално напрежение: диапазон на генерираните напрежения - 0-2V_{rms} (ефективна стойност); честотен диапазон на генерираните напрежения - 10Hz-100MHz; изходно съпротивление 750 Ω ; грешка при задаването на честотата и напрежението \leq 1%.

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучи описанието на електроннолъчевия осцилоскоп от точка 4.

3.2. Да се установи експериментално влиянието на органите за управление на осцилоскопа.

3.2.1. Установяване на лъча на канал A без входен сигнал.

-включва се захранващото напрежение на осцилоскопа;

-установява се режим на непрекъсната развивка;

-избира се за изобразяване канал A;

-с помощта на потенциометрите за преместване по X "←" и за преместване на канал А по Y "↓" се установява лъча в средата на екрана;

-с потенциометрите "ЯРКОСТ", "ФОКУС" и "АСТИГ"-натисъм се установява достатъчно ярък, тъък и с резки контури лъч на екрана.

3.2.2. Стабилизирание на изображението в режим на непрекъсната развивка.

-към вход А на осцилоскопа се подава от генератора синусоидално напрежение с честота 1кНз и ефективна стойност 2 Vrms;

-установява се подходяща чувствителност по Y на канал А (например 1V/cm.);

-установява се подходяща развивка на базата за време (например 0,5 ns/cm.);

-с помощта на потенциометъра "СТАБИЛНОСТ" се регулира развивката до получаването на сравнително неподвижен образ на екрана;

3.2.3. Синхронизиране на осцилоскопа в режим на чакаща развивка.

-избира се канала, по които ще се извършва синхронизацията: (канал А);

-установява се осцилоскопа в режим на чакаща развивка;

-с помощта на потенциометъра за ниво на синхронизация "НИВО" се установява на екрана стабилно изображение на входния сигнал;

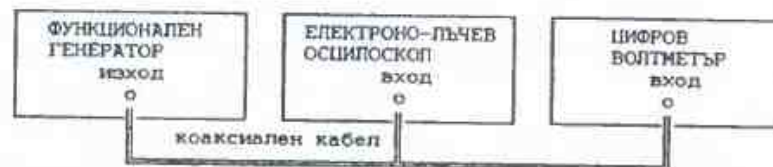
3.3. Да се изследва влиянието на вида и нивото на синхронизация върху изображението на сигнала.

-регулира се нивото на синхронизация с потенциометъра "НИВО". Измененията в изображаването на синусоидалното напрежение върху екрана на осцилоскопа се илюстрира с времедиаграми;

-променя се полярността на синхронизацията чрез натискане на бутон "+/-". Сняната на синхронизацията по преден или заден фронт се илюстрира с времедиаграми.

3.4. Да се определят грешките на осцилоскопа при измерване на електрическо напрежение.

-реализира се опитната постановка на фиг.2.1



фиг. 2.1

-от генератор на синусоидално напрежение се подава сигнал с честота 1 кНз и амплитуди в съответствие със зададените в таблица 2.1.

-от екрана на осцилоскопа се отчите размаха U_{p-p} на подаденото напрежение и се изчислява амплитудата $U_m = U_{p-p} / 2$;

-изчислява се ефективната стойност U_{rms} за отчетеното синусоидално напрежение: $U_{rms} = U_m / \sqrt{2}$;

-изчислява се грешката на осцилоскопа при измерване на ниво на напрежение по формулата:

$$\text{босц.} = \frac{U_{rms} - U_{ген.}}{U_{ген.}} \cdot 100 \%$$

-резултатите се нанасят в таблица 2.1;

Таблица 2.1

Обхват. (V/дел)	0.1	0.2	0.5	1.0
$U_{ген.}$ (V rms)	0.2	0.4	1.0	2.0
U_{p-p} (V)				
U_{rms} (V)				
босц. [%]				
норме. [%]				

-прави се сравнение с нормата за грешка, дадена в точка 2.1 и се записва в протокола дали осцилоскопът отговаря на специфицираната точност при измерване на ниво на напрежение.

3.5. Да се провери точността на базата за време на осцилоскопа.

-изпълнява се опитна постановка от фиг.2.1

-установява се базата за време (гапатен превключвател "ВРЕМЕ/ДЕЛ") на стойностите kt, посочени в таблица 2.2;

-от генератора се подава синусоидално напрежение с такава еталонна честота $f_{ген}$, че на екрана на осцилоскопа в рамките на растерната мрежа да се получат M на брой цели периода (M - от 5 до 10);

-от екрана на осцилоскопа се отчита броят N на деленията по хоризонталната ос, съответстващи на M -те цели периода;

-изчислява се действителната стойност kt' на базата за време, оценена чрез периода $T_{ген}$ на сигнала с еталонна честота $f_{ген}$, отчетена от скалата на генератора. Използува се формулата:

$$kt' = \frac{M \cdot T_{ген}}{N} = \frac{M}{N \cdot f_{ген}}$$

-изчислява се грешката δt на базата за време по формулата:

$$\delta t = \frac{kt' - kt}{kt} \cdot 100\%$$

-резултатите се нанасят в таблица 2.2;

Таблица 2.2

зададена база време kt . [мс/дел.]	0,5	0,2	0,1	0,05
M цели периода.	[бр.]			
N деления по X .	[дел.]			
измерена база време kt . [мс/дел.]				
δt .	[%]			
норма.	[%]			

-прави се сравнение с нормата за грешка, дадена в 2.1. и се записва в протокола дали осцилоскопът отговаря на специфицираната точност при задаване на базата (мащаба) на времето.

3.6. Да се сHEME амплитудно-честотната характеристика на осцилоскопа и се определи честотната лента на Y канала f_H .

-чувствителността на Y канала за вход A се установява така, че при входен сигнал с честота 1 kHz, размахът на синусоидалата да заеме 2/3 от скалата на екрана (Y_1);

-подават се от генератора на синусоидално напрежение честотите, указани в таблица 2.3, като се поддържа неизменно ниво на сигнала;

-от екрана на осцилоскопа се отчитат деленията Y_f , съответстващи на размаха на изображениния сигнал;

-изчислява се честотната грешка δf по формулата:

$$\delta f = \frac{Y_f - Y_1}{Y_1} \cdot 100\%$$

-резултатите се нанасят в таблица 2.3;

Таблица 2.3

$f_{ген}$. [Hz]	100	1k	10k	100k	1M	2M	5M	10M	20M
Y_f . [дел.]									
δf . [%]									

-изчертава се амплитудно-честотната характеристика на Y канала в логаритмичен мащаб за честотата и от нея се определя честотната лента f_H на ниво -3db на осцилоскопа.

3.7. Да се определи времето за нарастване на фронта на импулса, внасяно от осцилоскопа.

-времето t_p за нарастване на фронта на импулса, внасяно от осцилоскопа се определя чрез граничната честота по формулата:

$$t_p = 0.35/f_H$$

-да се оцени с колко наносекунди осцилоскопът ще удължи времето на фронта на TTL сигнал, който нараства за 10ns. Времената на фронтите се сумират квадратично. Изчисленията да се запишат в протокола.

4. Теоретична част

Структурната схема на електронно-лъчевия осцилоскоп е показана на фиг. 2.2. Основните възли на осцилоскопа са групирани в 5 функционални блока - канал за вертикално отклонение (Y канал), канал за хоризонтално отклонение (X канал), електронно-лъчева тръба, блок за синхронизация и канал за управление на яркостта (Z канал).

Предназначението на Y канала е да отнесва лъча на осцилоскопа по вертикалната ос на екрана на електронно-лъчевата тръба в линейна зависимост от стойността на подаденото напрежение U_y на входа на Y канала (Y вход).

Чувствителността зависи от коефициента на предаване по напрежение в Y канала. За да могат да се изобразяват с осцилоскопа напрежения с големина от миливолти до десетки волти коефициентът

Каналът за хоризонтално отклонение може да бъде използван и в режим на външна развивка (X-Y развивка). Отклонението на лъча по оста X се определя от подаваното външно напрежение (както при Y канала).

Предназначението на канала за управление на яркостта (Z канал) е да гаси лъча на електронно-лъчевата тръба когато входния сигнал не трябва да се изобразява. При линейна развивка на осцилоскопа (фиг. 2.3) изображението носеше информация за сигнала е само по времето на правия ход на лъча. По време на обратния ход на лъча посредством Z канала се запущва венелтовия щипцър на електронно-лъчевата тръба, което забранява визуализацията на изображението. Сигнала за светене или ГАСЕНЕ на лъча се подава от ГЛН. В някои осцилоскопи има изведен вход Z, чрез който яркостта на лъча може да се управлява с външно напрежение, което в режим на X-Y развивки, разширява възможностите на осцилоскопа за измерване на фазови разлики и сравняване на честоти чрез осъществяване на кръгови развивки и управление на яркостта на лъча.

Ръчно яркостта на светене се регулира с потенциометър, подаващ допълнително постоянно напрежение към входа на Z усилвателя.

Електронно-лъчева тръба (ЕЛТ). Предназначението ѝ е да изобразява подадените напрежения от изходите на X и Y каналите с яркост определена от Z канала. За получаването на ясно изображение, напреженията на решетките (електронната лупа) на ЕЛТ ръчно се регулират с потенциометрите ФОКУС и АСТИГМАТИЗЪМ, изведени на лявия панел на осцилоскопа.

Електронно-лъчевите осцилоскопи имат следните по-характерни органи за управление:

-ПРЕМЕСТВАНЕ ПО Y ("↑"). Най-често това е потенциометър с който се подава допълнително постоянно напрежение на входа на Y усилвателя, в резултат на което на екрана изображението на сигнала се премества ръчно нагоре-надолу:

-БАЛАНС НА Y. Потенциометър (обикновено достъпен само с тънка отверка), с който се корегира входното напрежение на несиметрия на съответния Y канал.

-Инвертиране на Y канал. Бутон, с който се сменя знака на коефициента на предаване на Y канала. При двуканалните осцилоскопи обикновено може да се инвертира само канал B и тогава означението на бутона на лявия панел е ИВРТ.В.

-Избор на канал при двуканалните осцилоскопи. Това са най-често един или два позиционни прелючватели или бутонни полета, с които се избира кои Y канали да се изобразяват на екрана (канал A или канал B, или и двете) както и начина за изобразяването им един след друг (алтернативно) в последователни линейни развивки, едновременно (накъсване във времето) в рамките на линейната развивка; сумиране на двата канала, при което изображението на екрана е едно и представлява сума от изображенията на двата канала. Когато се сумират двата канала, но единият от тях е инвертиран, може да се изобразява диференциалната разлика между напреженията, подадени на Y входовете A и B.

-ПРЕМЕСТВАНЕ ПО X ("←"). Най-често това е потенциометър, чрез който се подава допълнително постоянно напрежение на входа на X усилвателя, за преместване на изображението на сигнала наляво или надясно:

-X.5 или X.10. Това е бутон, с който се увеличава съответно 5 или 10 пъти усилването в X канала, в резултат на което лъча се движи с 5 или 10 пъти по-голяма скорост по хоризонтала на екрана. Толкова пъти се променя мащаба на времето спрямо зададения от БАЗАТА ЗА ВРЕМЕ.

5. Контролни въпроси.

- 1.) С какво се отличава електронно-лъчевия осцилоскоп от другите електронни измервателни уреди?
- 2.) Какво представлява линейната развивка на електронно-лъчевия осцилоскоп и за какво служи?
- 3.) Каква е разликата между непрекъснатата и чакащата развивки?
- 4.) Що е чувствителност на осцилоскопа? В какъв диапазон и с каква стъпка се променя тя?
- 5.) Как се проверява точността на чувствителността на осцилоскопа? От какъв порядък са грешките при измерване на напрежение?
- 6.) Какви параметри характеризират хоризонталното отклонение на електронно-лъчевия осцилоскоп?
- 7.) Какво представлява параметъра "честотна лента на осцилоскоп"? Как се определя експериментално количествената му стойност?
- 8.) Илюстрирайте с времедиаграма механизма на синхронизация на осцилоскопа по вътрешен сигнал в режим на чакаща развивка!

III. ИЗСЛЕДВАНЕ НА RC-ГЕНЕРАТОР

1. Цел на лабораторното упражнение.

Целта на лабораторното упражнение е да се запознаят студентите с устройството и принципа на действие на нискочестотни измервателни генератори, както и с методите за тяхното изследване.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното занятие е необходима следната апаратура и допълнителни съоръжения.

2.1. Лабораторен макет "Нискочестотен RC-генератор".

Лабораторният макет "Нискочестотен RC-генератор" е комбиниран уред, съставен от три самостоятелно оформени блока: генераторен блок, режекторен филтър и аналогов волтметър за променливи напрежения - фиг.3.1



Фиг.3.1

2.1.1. Основни технически параметри на генераторната част на уреда са:

- честота на изходния сигнал от 10Hz до 100kHz в четири подобхвата: 10Hz - 100Hz, 100Hz - 1kHz, 1kHz - 10 kHz, 10kHz - 100kHz;
- грешка в установяване на честотата $\leq \pm 10\%$;
- ниво на изходния сигнал от 0 Veff до 1 Veff в три подобхвата: 0mV - 10mV, 10mV - 100mV, 100mV - 1V;
- грешка в установяване на нивото на изходния сигнал за трите подобхвата $\leq \pm 5\%$;
- нестабилност на нивото на изходния сигнал в генерираната честотна област $\leq \pm 15\%$;
- коефициент на нелинейни изкривявания $\leq \pm 1\%$;
- изходно съпротивление 600Ω $\pm 5\%$.

2.1.2. Основни параметри на измервателя на нелинейни изкривявания (режекторен филтър и аналогов волтметър).

Основните параметри на измервателя на нелинейни изкривявания са дадени в табл.3.1.

Таблица 3.1.

№	Наименование на параметъра	Обхват	Точност
1	Измервателни обхвати и точност на аналогов волтметър	0 - 10mV 0 - 100mV 0 - 1V	$\pm 5\%$ от цялата скала
2	Обхват и точност при измерване на нелинейни изкривявания	0 - 1% 0 - 5% 0 - 20% 0 - 100%	$\pm 5\%$ от цялата скала

2.2. Цифров честотомер ($\geq 10\text{MHz}$, основна грешка $\leq 0.001\%$).

2.3. Волтметър за променливо напрежение с основна грешка $\leq 1\%$ и честотна лента $\geq 1\text{MHz}$.

2.4. Осцилоскоп с честотна лента $\geq 1\text{MHz}$.

2.5. Резистор 500Ω $\pm 1\%$.

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучи принципа на действие на RC-генератора и измервателя на нелинейни изкривявания описани в точка 4.1!

3.2. Да се изчислят максималните и минималните честоти за отделните честотни обхвати на RC-генератора за стойностите на кондензаторите от фиг. 3.7, като се знае че минималната и максималната стойност на съпротивлението на R-групите са $R_{\min} = 1k$ и $R_{\max} = 11k$!

3.3. Да се проверят честотните обхвати и грешката в установяване на честотата на RC-генератора!

Проверката се извършва както следва:

Осъществява се схема на опитната постановка показана на фиг.3.2. Установява се честотен обхват за RC-генератор 10Hz - 100Hz. За всяка точка от награвения диск на потенциометъра за плавно изменение на честотата се измерват действително генерираните честоти с помощта на цифров честотомер. Изчислява се относителната грешка в установяване на честотата съгласно формулата:

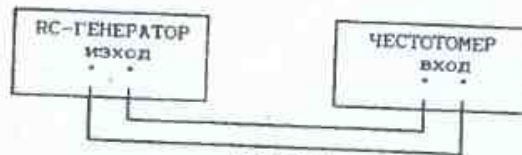
$$(3.1) \quad \delta_{\text{уст.}} = (f_{\text{уст}} - f_{\text{ном}}) / f_{\text{уст}} \cdot 100, [\%].$$

където: $f_{уст}$ е установената честота на RC-генератора в съответствие с разграфения диск на потенциометъра за плавно изменение на честотата;
 $f_{изм}$ е отчетената от цифровия честотомер стойност за честотата.

Същите измервания се осъществяват и за останалите обхвати. Резултатите се нанасят в табл. 3.2. Чертаят се графики на грешката при установяване на честотата $\delta f_{уст} = F(f_{уст})$.

Таблица 3.2.

Обхват	Деление	1	2	4	8	10
1	$f_{уст}$ [Hz]					
	$f_{изм}$ [Hz]					
	$\delta f_{уст}$ [%]					
	$\delta f_{доп}$ [%]	± 10%				
	ДА / НЕ					
2		-----				
3		-----				
4		-----				



Фиг. 3.2

3.4. Да се проверят нивата на изходните напрежения на RC-генератора!

Проверката се осъществява по следния начин:

Осъществява се схема на опитна постановка съгласно фиг. 3.3. Установява се честота на генериране около 2 kHz и произволно избран обхват за ниво на изходния сигнал на RC-генератора. За всяко деление от скалата на потенциометъра за плавно изменение на изходното напрежение на RC-генератора се измерва изходното напрежение с електронен волтметър. Изчислява се относителната грешка $\delta U_{уст}$.

(3.2)

$$\delta U_{уст} = \frac{(U_{уст} - U_{изм})}{U_{уст}} \cdot 100 [\%].$$

където: $U_{уст}$ е ефективната стойност на напрежението, установено от скалата на потенциометъра.

$U_{изм}$ е измерената с волтметър стойност на изходното напрежение.

Резултатите от измерванията и изчисленията се нанасят в табл. 3.3. Чертае се графиката $\delta U_{уст} = F(U_{изм})$.

Таблица 3.3.

Обхват	Деление	1	2	4	8	10
	$U_{уст}$ [V]					
	$U_{изм}$ [V]					
	$\delta U_{уст}$ [%]					



Фиг. 3.3

3.5. Да се провери стабилността на изходното напрежение в генерираната честотна област!

Проверката се осъществява по схема на опитна постановка, показана на фиг. 3.3 по следния начин.

Установява се изходен сигнал на RC-генератора с честота 2kHz и ниво 0,8 V. За произволно избран честотен обхват при фиксирано положение на потенциометъра за регулиране на изходното ниво, се измерва изходното напрежение в 5 точки от честотния обхват. Построява се АЧХ на RC-генератора за избрания обхват.

3.6. Да се провери коефициента на нелинейни изкривявания на RC-генератора!

Проверката се осъществява по схема на опитна постановка, показана на фиг. 3.4 по следния начин.

Подава се от RC-генератора сигнал с честота 2,5kHz и ефективна стойност на напрежението около 1V към входа на ректорния филтър. Изхода на последния се свързва към входа на аналоговия волтметър. Включва се бутон "КАЛ" на ректорния филтър и се установява измервателен обхват 1V на волтметъра. Регулира се амплитудата на изходния сигнал до получаване на пълно отклонение по скалата на аналоговия волтметър.

Включва се бутон "100%" на рехекторния филтър. Чрез последователна донатстройка на честотата на изследвания сигнал и потенциометъра от полето на рехекторния филтър се установява максимално показание на скалата на аналоговия волтметър.

Процедурата се повтаря и за всеки следващ обхват от рехекторния филтър (20%, 5%, 1%), до получаване на максимално възможен коефициент на нелинейни изкривявания. Стойността на коефициента на нелинейни изкривявания се отчита, като се вземе в предвид показанието на стрелката от скалата на аналоговия волтметър и установения измервателен обхват на рехекторния филтър.

Качествена оценка на генерираното напрежение от RC-генератора може да се направи и чрез наблюдения на последното на екрана на електронно лъчев осцилоскоп.



Фиг. 3.4

3.7. Да се провери изходното съпротивление на RC-генератора.

Проверката се осъществява по схема на опитната постановка от фиг. 3.5. Установява се сигнал от RC-генератора с честота около 2 kHz и ниво на изходния сигнал $U_1 = 1V$ при ненатоварен изход.

Включва се товарен резистор $R_t = 500 \Omega$ в изхода на генератора и се отчита стойността на изходното напрежение U_2 . Изходното съпротивление се изчислява по формулата:

$$(3.3) \quad R_{изх} = (U_1 - U_2) / U_2 \cdot R_t, [\Omega].$$



Фиг. 3.5

4. Теоретичка част.

4.1. Устройство и принцип на действие на RC-генератора.

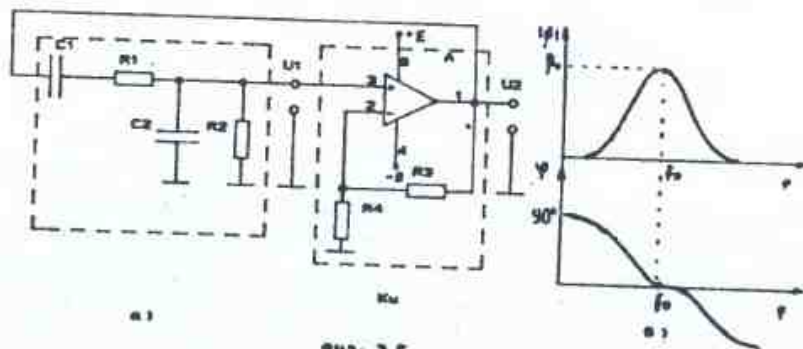
Автогенераторът в лабораторния пакет "Нискочестотен RC-генератор" е реализиран по схемата показана на фиг. 3.6. Усилвателят е обхванат от честотно зависима положителна и честотно независима отрицателна обратна връзка. От условието за самовъзбуждане при $R_1=R_2=R$ и $C_1=C_2=C$ се получават следните основни формули за определяване на схемата:

$$(3.4) \quad f_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C}$$

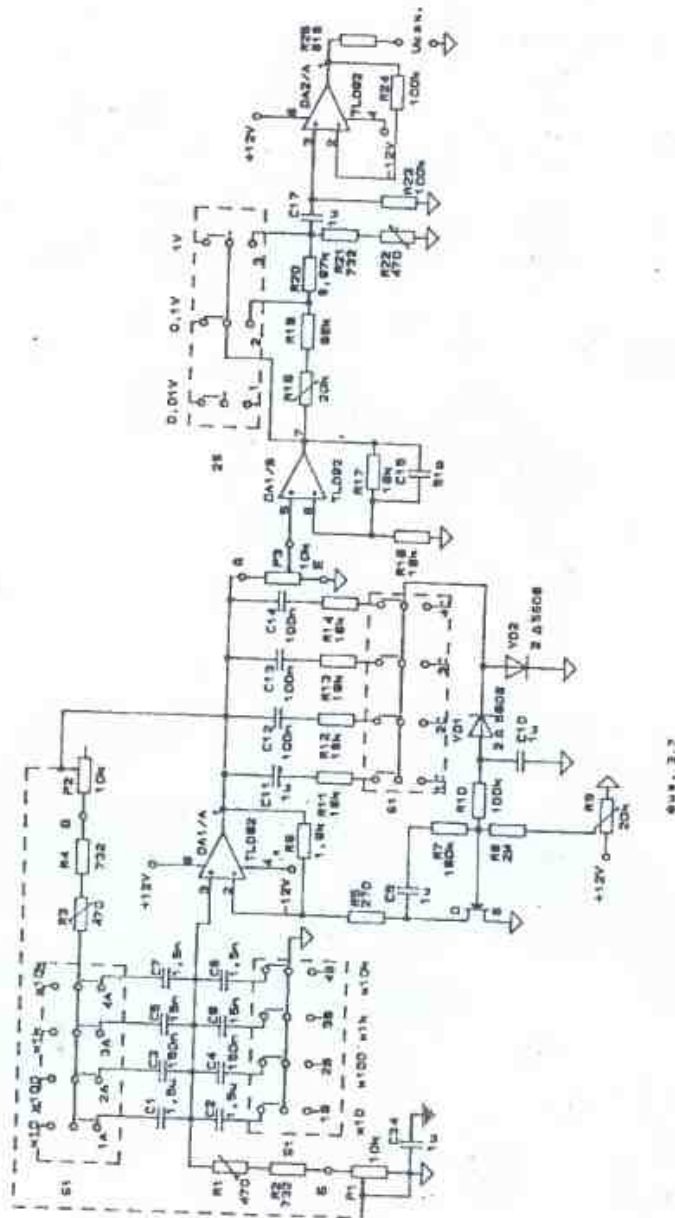
$$(3.5) \quad K_u = (R_3 + R_4) / R_4 = 3$$

където: f_0 е честотата на генерираното колебание, а K_u е коефициент на усилване с отрицателната обратна връзка. Принципната електрическа схема на RC-генератора е показана на фиг. 3.7.

Генериращата част е реализирана с операционен усилвател DA1/A (1/2 TL 082). Чрез двусекция потенциометър P1, P2 се изменя плавно честотата на всеки подобхват. Сигната на подобхватите се осъществява чрез едновременно правключване на кондензаторите C1-C2, C3-C4, C5-C6 и C7-C8. Отрицателната обратна връзка е осъществена



Фиг. 3.6



Фиг. 3.7

чрез резисторите R5, R6 и съпротивлението R_{ds} на канала на полевия транзистор VT1 (КП 303А). Стойността на R_{ds} се управлява от нивото на изходния сигнал. По този начин се стабилизира изходната амплитуда. Регулиращото действие на обратната връзка е следното. При първоначално включване на захранването, напрежението на гейта на полевия транзистор е положително и съпротивлението на канала R_{ds} е високо. Това определя максимална дълбочина на отрицателната обратна връзка, което осигурява сигурно възбуждане на генератора. Дiodите VD1 и VD2 заедно с кондензаторите C10 и C11 (C12, C13 или C14) образуват върхов детектор със затворен вход за изходния сигнал. При увеличаване на изходната амплитуда под действието на дестабилизиращ фактор, отрицателното напрежение подадено към гейта на транзистора VT1 нараства. Това поражда увеличаване на съпротивлението на неговия канал, с което отрицателната обратна връзка става по-дълбока и се намалява изходната амплитуда на сигнала.

Плавното изменение на изходната амплитуда на RC-генератора се осъществява с потенциометъра P3, а стъпално чрез декадният делител R18 - R22. Между тях е включен буферен усилвател DA1/B. Буферният усилвател DA2/A и резисторът R25 осигуряват постоянно изходно съпротивление на генератора.

4.2. Измервател на нелинейни изкривявания.

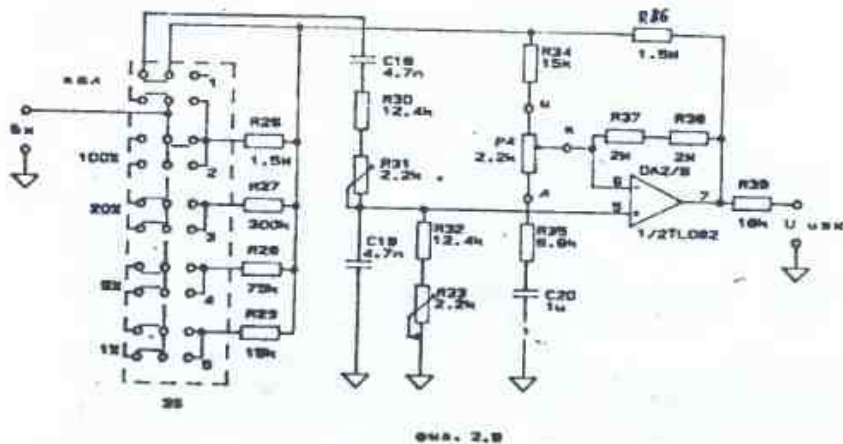
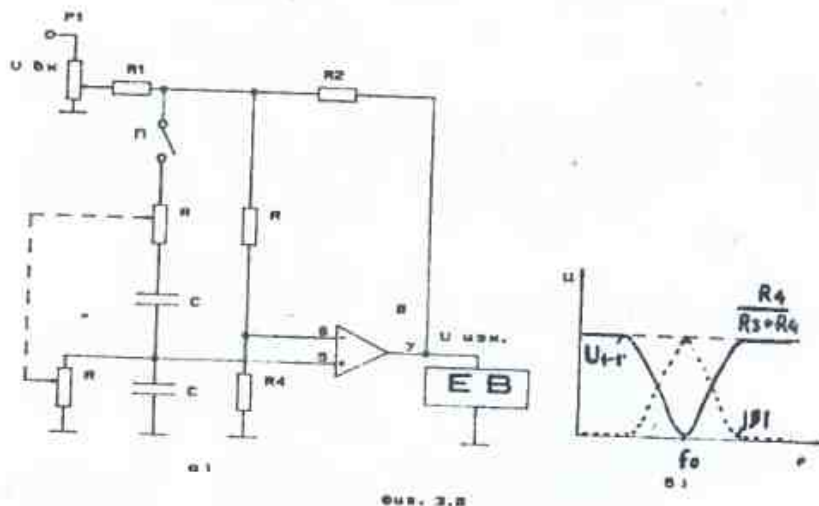
Коефициентът на нелинейни изкривявания дава количествена оценка за отклонението на формата на периодичното колебание от хармоничното. Определя се с израза:

$$(3.6) \quad K_f = \sqrt{\frac{u_2^2 + u_3^2 + \dots + u_n^2}{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}}$$

където u_1, u_2, \dots, u_n са ефективни стойности на съответните хармонични съставки на сигнала.

Определянето на клирфактора в съответствие с (3.6) показва, че същия може да се намери експериментално чрез измерване на ефективните стойности на напрежението без и с основния хармоник, след което да се изчисли тяхното отношение. Реализацията на всички тези действия могат да се осъществят с помоща на схемата от фиг.3.8 в следната последователност.

1.) Изключва се превключателя П. В този случай схемата от фиг.3.8а работи като инвертиращ усилвател за всички хармонични



съставки на изследвания сигнал. Коэффициентът на усилване е:

$$(3.7) \quad K_u = U_{изм}/U_{вх} = R_2/R_1$$

Посредством потенциометъра R1 се установява максимално показание на стрелката по скалата на електронния волтметър. Това показание съответствува на 100% клирфактор.

2.) Включва се превключвателя П, при което схемата се трансформира в рехекторен филтър - фиг.3.8б. С помощта на двоенния потенциометър R се настройва честотата на рехекция, така че да се получи максимално показание върху скалата на волтметъра. В измереното по този начин напрежение липсва основния хармоник или съгласно (3.6) показанието съответствува на стойността на клирфактора в проценти спрямо цялата скала.

Принципната електрическа схема на рехекторния филтър е показана на фиг.3.9. Режим "изключен филтър" се осъществява, като се натисне бутон "кал" (калибровка) на превключвателя 3S. Режим "включен филтър" се осъществява, като се натисне някой от останалите бутони (100%, 20%, 5% или 1%) на превключвателя 3S. При натискане на бутон "100%" усилването в схемата за висшите хармоници е 1 и цялата скала на волтметъра съответствува на 100% коэффициент на нелинейни изкривявания. При натиснат бутон "20%" усилването на схемата се увеличава 5 пъти и цялата скала на волтметъра съответствува на клирфактор 20% и т.н.

5. Контролни въпроси.

- 1.) Обяснете принципа на действие на RC-генератор.
- 2.) Изведете израза $f_0 = 1/(2\pi RC)$ на генерираната честота!
- 3.) Кои са причините за нестабилността на изходната амплитуда при регулиране на честотата на RC-генератора? Какви схемотехнически мерки се предприемат за намаляване на тази нестабилност?
- 4.) Обяснете принципите на стабилизация на изходната амплитуда на RC-генератора, използвайки регулируемо съпротивление, включено във веригата на отрицателната обратна връзка.
- 5.) Обяснете начина на измерване на коэффициента на нелинейни изкривявания, с помощта на рехекторен филтър и електронен волтметър.

IV. ИЗСПЕДВАНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНИ ГЕНЕРАТОРИ

1. Цел на упражнението.

Целта на лабораторното упражнение е да затвърди теоретичните знания на студентите, относно принципите за генериране на сигнали с различна форма. В процеса на работа те придобиват практически навики и умения да работят с функционални генератори, както и да изследват техните характеристики и параметри.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното занятие е необходима следната апаратура и допълнителни съоръжения.

2.1. Лабораторен макет "Функционален генератор ФГ-01", характеризиращ се със следните технически характеристики.

1.) Форма на генерираните сигнали: синусоидална, правоъгълна и триъгълна, получавана в 3 независими един от друг изходи. Отделен изход за правоъгълно напрежение с TTL ниво.

2.) Честота на генерираните сигнали и точност на задаване:

0.01Hz - 9.99Hz $\leq \pm 1.5\%$ от края на обхвата;

1Hz - 999 Hz $\leq \pm 1.5\%$ от края на обхвата;

100Hz - 99.9kHz $\leq \pm 3\%$ от края на обхвата.

3.) Модулиране честотата на генерираните сигнали от 0 до 2f с външно напрежение $\pm 1V$ (f е зададената честота).

4.) Регулиране на изходното ниво в обхвати и точност:

0V - 0.1V $\leq \pm 5\%$ от зададената стойност;

0V - 1V $\leq \pm 5\%$ от зададената стойност.

5.) Коэффициент на нелинейни изкривявания за синусоидален сигнал $\leq 2.5\%$.

6.) Изходно съпротивление 50Ω $\pm 5\%$.

7.) Максимален ток на изхода 5mA.

2.2. Цифров честотомер ($\Delta f \geq 10\text{MHz}$, основна грешка $\leq 0.001\%$).

2.3. Двуканален осцилоскоп ($\Delta f \geq 10\text{MHz}$).

2.4. Цифров волтиетър ($\geq 3 \frac{1}{2}$ цифри).

2.5. Източник на регулируемо постоянно напрежение (0 - 2V).

2.6. Резистор 50Ω $\pm 1\%$.

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучат параметрите, устройството и принципите на действие на функционален генератор, описан в точка 4.1!

3.2. Да се изчислят максималните и минималните честоти на генерация за трите подобхвата!

Честотата на генерираните колебания се изчисляват по формула (4.5), като стойностите на елементите влизащи в нея се намират от принципната електрическа схема на фиг. 4.8. Управляващото напрежение U_y се изчислява по формулата $U_y = U_{y1} \cdot R/R_0$ ($U_{y1} = 1V$).

Стойността на праговото напрежение $U_{пр}$, при което се преобръща състоянието на компаратора се определя по формула (4.4), като се знае че $U_{ко} = 7V$, $R_{k1} = 7.15k\Omega$ и $R_{k2} = 10k\Omega$. Получените резултати се нанасят в табл. 4.1.

Таблица 4.1.

Обхват	$R_0 \text{ min}$	$R_0 \text{ max}$	f_{min}	f_{max}	δ_{min}	δ_{max}
0.01 - 9.99 Hz						
1 - 999 Hz						
0.1 - 99.9 kHz						

3.3. Да се провери формата на генерираните сигнали от функционалния генератор ФГ-1!

Проверката се осъществява с помоща на електроннолъчев осцилоскоп по схема на опитната постановка показана на фиг. 4.1.



фиг. 4.1

За целта трите изхода на функционалния генератор се включват последователно към "Y" входа на електроннолъчев осцилоскоп. За всяко включване се наблюдава формата на генерираното напрежение и се отразява в изпитателния протокол. Отразяването формата на генерираните напрежения да се извърши в една координатна система при съобразяване на взаимната им синхронизация.

"TTL" изхода на функционалния генератор се проверява при честота $f = 1\text{kHz}$. От екрана на осцилоскопа се отчита периода и амплитудата на генерираните импулси.

3.4. Да се провери точността на задаване честотата на генерираните сигнали от функционалния генератор ФГ-1!

Проверката се осъществява с помощта на цифров честотомер, който се свързва към "SIN" изхода на функционалния генератор, както е показано на фиг.4.2



фиг.4.2

Определят се грешките при задаване на честотата за всеки обхват от всеки обхват. Задължително се проверяват максималната и минималната честота за всеки обхват. Получените резултати се нанасят в табл.4.2.

Таблица 4.2

Обхват		1	2	3	4	5	6	7
0.01 - 9.99 Hz	$f_{уст.} [Hz]$							
	$f_{изм.} [Hz]$							
	$\delta f, [\%]$							
1 - 999 Hz								
0.1 - 99.9 kHz								

3.5. Да се снеме модулационната характеристика на функционалния генератор.

Осъществява се схема на опитната постановка съгласно фиг.4.3. За модулиращо напрежение $U_m = 0\text{V}$ се установява генерирана честота $f_0 = 1\text{kHz}$. След това се изменя модулиращото напрежение в граници $\pm 1\text{V}$, през стъпка 0.1V . Снема се модулационната характеристика $f = F(U_m)$. Резултатите от измерванията се нанасят в табл.4.3. Чертае се графика на модулационната характеристика.



фиг.4.3

Таблица 4.3

$U_m, [V]$	-1	-0.9	...	-0.1	0	0.1	...	0.9	1
$f_{изм.} [Hz]$					1000				

3.6. Да се провери нивото на изходните сигнали от функционалния генератор!

Осъществява се схема на опитната постановка съгласно фиг.4.4 като входът на контролиращия волтметър се свързва към изход "синусоидален сигнал" на функционалния генератор.



фиг.4.4

Установява се честота 1kHz и изходно ниво на функционалния генератор $U_{уст} = 0.1\text{V}$ (крайно дясно положение на регулатора). Отчита се показанието на електронния волтметър и се изчислява грешката $\delta U = F(U_{уст})$ по формулата

$$(4.1) \quad \delta U = \frac{U_{изм} - U_{уст}}{U_{уст}} \cdot 100, [\%]$$

По аналогичен начин се проверява и изходно ниво 1V .

3.7. Да се определи изходното съпротивление $R_{изх}$ на функционалния генератор!

Осъществява се схема на опитната постановка съгласно фиг.4.5. Определянето на изходното съпротивление на функционалния генератор се осъществява за синусоидална форма и честота $f = 2\text{kHz}$ (примерно) на изходния сигнал. Извършват се две измервания. При изключен товарен резистор R_t се установява ниво на изходния сигнал $U_1 = 0.1\text{V}$, отчетено от електронния волтметър. Включва се товарния



фиг. 4.5

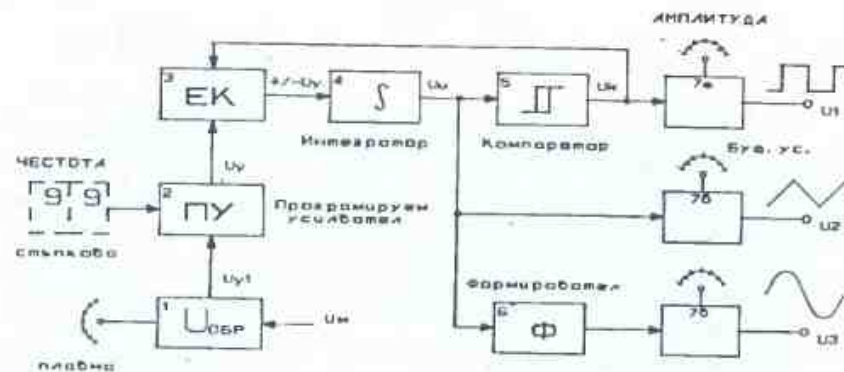
резистор R_r и се отчита втората стойност на изходното напрежение U_2 . Изходното съпротивление на функционалния генератор се изчислява по формулата

$$(4.2) \quad R_{изх} = \frac{U_1 - U_2}{U_2} \cdot R_r, (\Omega)$$

4. Теоретична част.

4.1. Обща структурна схема на функционалния генератор "ФГ-01"

Структурната схема на функционалния генератор ФГ-01 е показана на фиг. 4.6. Предназначението на отделните блокове е следното:



фиг. 4.6

1 - Източник на задаващо напрежение. Изработва образцово напрежение $U_{обр}$ и осъществява смесването му с външно подадено напрежение U_n за модулиране на честотата;

2 - Програмнируем усилвател. Преобразува образцовото напрежение в нормализирано за зададената честота. Управлява се от програмируем превключвател.

3 - Електронен ключ. Преобразува еднополярното изходно напрежение от програмируемия усилвател в двуполярно синхронизирано с поляритета на изходното напрежение на компаратора;

4 - Интегратор. Получава на входа постоянно напрежение с периодично изменящ се поляритет и изработва линейно изменящо се напрежение;

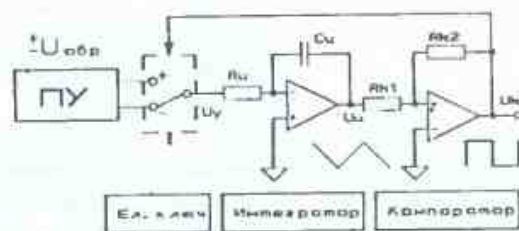
5 - Компаратор с хистерезис. Превключва изходното си състояние в зависимост от състоянието на изхода на интегратора и праговото си ниво;

6 - Формиращият на синусоидално напрежение;

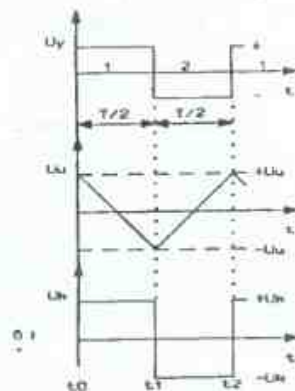
7 - Буферни усилватели. С регулиране на тяхното усиление се изменя нивото на изходните напрежения.

4.2. Структурна схема на генераторната част. Принцип на действие.

Структурната схема на генераторната част на функционалния генератор ФГ-01 е показана на фиг. 4.7. а. Тя се състои от интегратор,



фиг. 4.7



компаратор с хистерезис, източник на образцово напрежение и електронен ключ. Посредством обратната връзка от изхода на компаратора, електронният ключ превключва към входа на интегратора. За положителен или отрицателен поляритет на управляващото напрежение U_y . Превключването се извършва синхронно с поляритета на изходното напрежение на компаратора. Протичащите процеси в отделните вериги на схемата са илюстрирани с диаграмите от фиг.4.7.б.

Действието на схемата е следното.

На входа на интегратора се подава напрежение U_y с постоянна стойност, което изменя поляритета си периодично във времето. Това напрежение в изхода на интегратора се изменя по линеен закон съгласно израза

$$(4.3) \quad U_{из} = - \int_{t_0}^{tt} \frac{1}{R_{и.Си}} \cdot U_y \cdot dt = - \frac{U_y}{R_{и.Си}} \cdot (t - t_0)$$

Изходното напрежение на интегратора е включено към входа на компаратора. Стойността на праговото напрежение $U_{пр}$, при което се преобръща състоянието на компаратора се определя с израза

$$(4.4) \quad U_{пр} = - \frac{R_{к1}}{R_{к2}} \cdot U_{ко}$$

където: $U_{ко}$ е напрежението на насищане в изхода на компаратора.

Времени диаграмата на генерираните периодични колебания с триъгълнообразна и правоъгълна форма е показана на фиг.4.7.б. За временния интервал от t_0 до t_1 в изхода на компаратора и във входа на интегратора са установени положителни напрежения. Изходното напрежение на интегратора $U_{из}$ намалява по линеен закон. Когато достигне праговата стойност на компаратора $-U_{пр}$, последния преобръща състоянието си. $U_{ко}$ придобива отрицателна стойност. За временния интервал от t_1 до t_2 описания процес се развива по аналогичен начин.

Честотата на генерираните колебания се определят с формулата

$$(4.5) \quad f = \frac{1}{4 \cdot R_{и.Си}} \cdot \frac{R_{к2}}{R_{к1}} \cdot \frac{U_y}{U_{ко}}$$

4.3. Приемната електрическа схема.

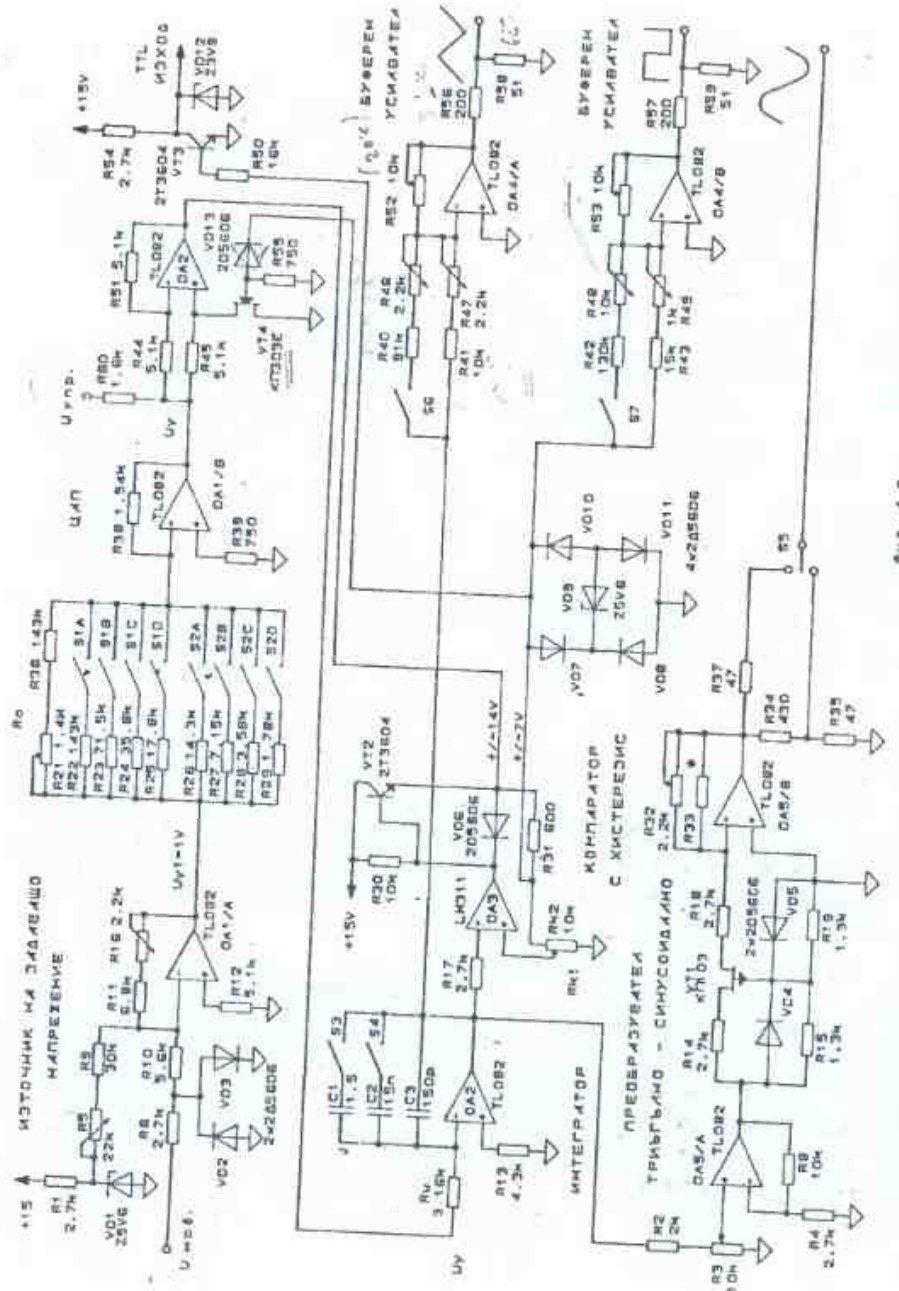
Приемната електрическа схема на функционален генератор ФГ-01 е показана на фиг.4.8. Тя е изпълнена в съответствие със структурната схема от фиг.4.6.

Образцовото напрежение се получава върху ценеровия диод VD1. Това напрежение се сумира с модулиращо напрежение $U_{мод}$ от инвертиращ суматор, реализиран с операционен усилвател DA1/A.

Точната стойност на управляващото напрежение U_{y1} се установява посредством потенциометрите R5 и R16. Напрежението постъпва на входа на програмируем усилвател, реализиран чрез резисторните матрици R22-R25, R26-R29 (с температурни коефициенти 1.2.4.8) и операционен усилвател DA1/B. За съответен набор в резисторната матрица се изработва управляващо напрежение U_y за зададената честота.

Поляритетът на управляващото напрежение се изменя чрез управление режима на работа на усилвателя DA2/A. При отпушен транзистор VT4, схемата работи като инвертиращ усилвател, а при запушен VT4 като неизвертиращ усилвател. Изходното напрежение на тази схема се подава на входа на интегратор, реализиран с операционен усилвател DA2/B, резистора R7 и кондензаторите C1, C2, C3. Чрез превключване на последните се получават три честотни обхвата на генератора.

Изходното напрежение на интегратора се подава на компаратор, осъществен с операционен усилвател DA3. За получаване на хистерезисна предавателна характеристика усилвателят е обхванат от положителна обратна връзка чрез резисторите Rk2 и R31. Стабилността на праговото напрежение се осигурява от диодно резистивната група R31, VD7 - VD11. Установяването на необходимата стойност става чрез потенциометъра Rk2. От изхода на буферното стъпало (VT2, VD6) на операционния усилвател DA3, през диода VD13 се управлява JFET транзистора VT4 за смяна на поляритета на напрежението, подавано на входа на интегратора. Чрез транзистора VT3 се формират изходни импулси с TTL ниво.



Фиг. 4.8

Крайните буферни усилватели за правоъгълно и триъгълно напрежение са реализирани с операционни усилватели DA4/A и DA4/B. Превключвателите S6 и S7 се сменя обхвата на изходните напрежения (0.1V и 1V), а чрез потенциометрите R52 и R53 се регулират плавно изходните амплитуди.

Каналът за формиране на синусоидално по форма напрежение се състои от усилвателите DA5/A, DA5/B и транзистота VT1. Посредством резистора R3 се настройва амплитудата на триъгълното напрежение постъпващо на входа на преобразувателя от триъгълна в синусоидална форма. За преобразуване на напрежението с триъгълна форма в синусоидална се използва квадратичния участък на началната област от характеристиката $I_d = F(U_d)$ на полупроводниковия транзистор VT1.

5. Контролни въпроси.

- 1.) Обяснете принципите на действие на генериращата схема на функционалния генератор ФГ-01!
- 2.) Обяснете принципите на преобразуване на триъгълно напрежение в синусоидално напрежение!
- 3.) Изведете израза за генерираната честота на функционалния генератор!
- 4.) Как влияе преговото напрежение $U_{пр}$ върху генерираната честота?
- 5.) Начертайте опитните постановки за проверка на следните параметри на функционалния генератор: грешка в задаване на честотата, модулиране на честотата, амплитуда на изходните сигнали, изходно съпротивление!

V. АНАЛОГОВО ИЗМЕРВАНЕ НА НАПРЕЖЕНИЕ

1. Цел на лабораторното упражнение.

Целта на упражнението е да затвърди теоретичните познания на студентите в областта на аналоговата техника за измерване на постоянни и променливи напрежения. Едновременно с това студентите придобиват практически умения да работят и изследват съответната измервателна апаратура.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното упражнение е необходима следната апаратура и допълнителни съоръжения:

2.1. Аналогов волтметър АВ-1, с техническа характеристика при измерване на постоянни и променливи напрежения, дадена в таблица 5.1. Таблица

режим	обхвати	основна грешка
постоянно напрежение	10mV; 50mV; 100mV; 500mV 1V; 5V; 10V; 50V; 100V; 500V;	$\pm 2\%$ от FS(*)
променливо напрежение	1mV; 5mV; 10mV; 50mV; 100mV; 500mV; 1V; 5V; 10V; 50V; 100V; 500V;	$\pm 1\%$ от FS + 0,5% U_x (**)

(*) FS - крайна стойност на обхвата;

(**) U_x - измерена стойност.

2.2. Източник на постоянно напрежение с регулируемо напрежение в граници 0 - 0,1V и 0 - 1V.

2.3. Генератор на синусоидални електрически сигнали (100 Hz - 10 kHz; 100 mV - 3 V_{pp}).

2.4. Цифров волтметър с разрядност $\geq 3 \frac{1}{2}$ цифри и обхвати от 0 - 200 V $\pm 0,2\%$.

3. Задачи за изпълнение

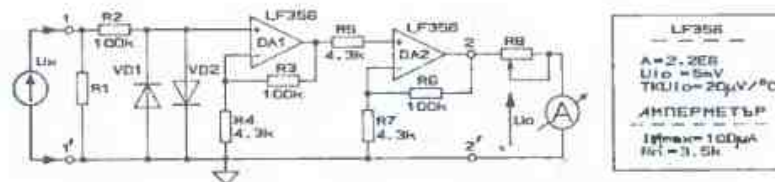
3.1. Да се разучат устройството и принципът на действие на аналогов волтметър АВ-1.

3.2. За схемата от фиг. 5.1 да се определи:

1.) Стойността на съпротивлението R_B , при която за $U_x = 10mV$ приложено на входа 1-1' се получава крайно отклонение на стрелката на измервателната система.

2.) Абсолютната и относителна стойност на грешката причинена от входното напрежение на несиматрия U_{10} на операционните усилватели при $U_x = 1mV$ и 10mV.

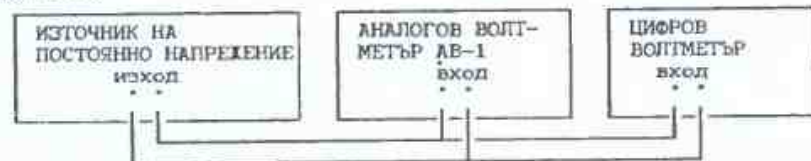
3.) Допълнителната грешка (абсолютна и относителна) в температурния интервал от 5°C до 45°C, при $U_x = 1mV$ и 10mV.



Фиг. 5.1

3.3. Да се изследва точността на аналогов волтметър АВ-1 при измерване на постоянно напрежение.

Изследването се извършва за избран измервателен обхват (например 1 V). Схемата на опитната постанова е показана на фиг. 5.2.



фиг. 5.2

Установява се аналоговия волтметър АВ-1 в режим измерване на постоянно напрежение. За десет точки равномерно разположени в обхвата се задават съответни стойности на напрежение. Отчетените стойности от цифровия волтметър $U_{цд}$ се приемат за образцови. Получените резултати се нанасят в табл. 5.2.

Таблица 5.2

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{изв.} [V]$										
$U_{хав.} [V]$										
$\Delta U = U_{хав.} - U_{изв.} [V]$										
$\delta u = (\Delta U / U_{изв.}) \cdot 100 \%$										

3.3. Да се изследва точността на аналогов волтметър АВ-1 при измерване на променливо напрежение.

Осъществява се схема на опитната постановка показана на фиг. 5.3.



фиг. 5.3

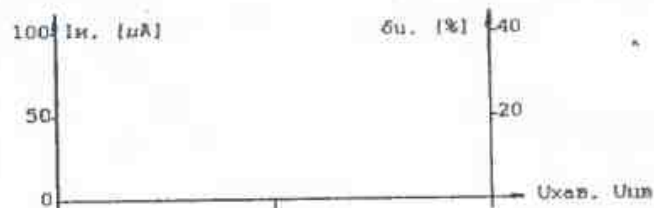
Установява се АВ-1 в режим на измерване на променливо напрежение. Последователността на изследване е като в точка 3.2.

3.4. Да се снеме реалната предавателна характеристика $I_n = f(U_x)$ за пасивен детектор в аналоговия волтметър АВ-1.

Аналоговия волтметър се превключва в режим на работен "пасивен детектор", като се натисне бутон "Д". Задава се синусоидално напрежение с честота $f = 1 \text{ kHz}$ и ниво U_x за получаване на отклонения на стрелковата система указани в табл. 5.3. Стойностите за входното напрежение се отчита с електронен волтметър - $U_{хав.}$ Стойностите за $U_{изв.}$ се изчисляват по формулата от фиг. 5.6. за идеален диод. Резултатите се нанасят в таблица 5.3. Изчислява се грешката δu за зададените точки от обхвата.

3.5. Да се снеме реалната предавателна характеристика $I_n = f(U_x)$ за активен детектор в аналоговия волтметър АВ-1. Еклюдва се активния детектор посредством натискане на бутон "АД". Изследването се извършва по методиката от точка 3.4.

3.6. Да се построят в обща координатна система реалните предавателни предавателни характеристики на активен и пасивен детектор и идеалните (при идеален диод) предавателни характеристики както и относителната грешка $\delta u = f(U_{изв.})$ (фиг. 5.4).



фиг. 5.4

Таблица 5.3

$I_n [\mu A]$	0	5	10	20	40	60	80	100
$U_{изв.} [V]$								
$U_{хав.} [V]$								
$\delta u = (U_{хав.} - U_{изв.}) / U_{изв.} [\%]$								

Сравняват се резултатите, получени за пасивен, активен и идеален детектор.

3.7. Да се снеме АЧХ и определи честотната грешка δu_f на аналогов волтметър АВ-1.

Изследването се извършва за произволно избран обхват.

Установява се АВ-1 в режим на измерване на променливо напрежение.

Осъществява се схема на опитната постановка съгласно фиг. 5.3. Подава се синусоидално напрежение с честота 1 kHz и ниво осигуряващо показание 0,8 от зададения обхват. Поддържа се амплитудата на входния сигнал и се изменя неговата честота. За стойностите на честотата f дадена в таблица 5.4. се отчитат показанията на АВ-1 и цифровия волтметър. Получените резултати се нанасят в таблица 5.4.

Таблица 5.4

f. [kHz]	0.02	0.04	0.08	0.10	0.20	1	10	20	40	80	100
U _{ср.} [V]											
U _{ав.} [V]											
δ _{ф.} [%]											

3.6. Да се снемат АЧХ на активен и пасивен детектор в аналогов волтметър АВ-1.

Снемането на АЧХ на активен и пасивен детектор се извършва по методиката описана в точка 3.7.

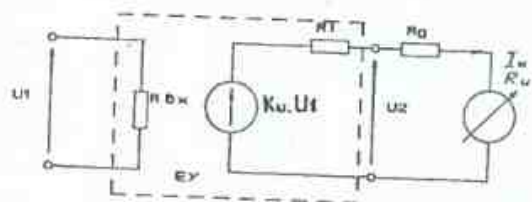
4. Теоретична част.

В аналоговите измервателни уреди за визуализация на резултатите най-широко приложение са намерили стрелковите системи от магнитоелектричен тип. Характерни за тях са равномерност на скалата и ъгъл на отклонение, пропорционален на средната стойност на тока протичащ през системата.

Основните им параметри са:

- I_{макс} - ток за крайно отклонение на стрелката;
- R_и - вътрешно съпротивление на измервателната система;
- U_{макс} = I_{макс} · R_и - напрежение за крайно отклонение на стрелката.

За намаляване консумацията от измервателната верига се използва съчетание на електронен усилвател и стрелкова система - фиг. 5.5.



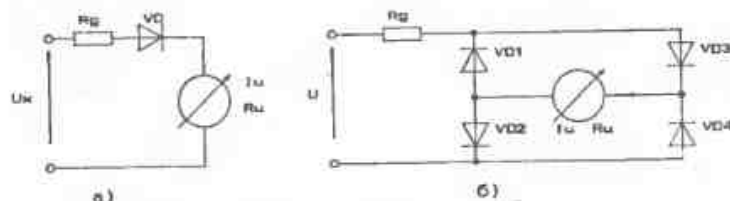
фиг. 5.5

Входното напрежение за максимално показание на стрелковата система е:

$$U1 = \frac{(R1 + Rг + Rи) \cdot I_{\max}}{K_u}$$

При измерване на променливо напрежение последното се пресобразува в постоянно посредством детектори. Най-разпространени са детекторите на средна стойност, при които изходното постоянно напрежение е пропорционално на средната стойност на измерваното напрежение.

На фиг. 5.6 са показани най-често използваните схеми на еднополупериодни и двуполупериодни детектори.

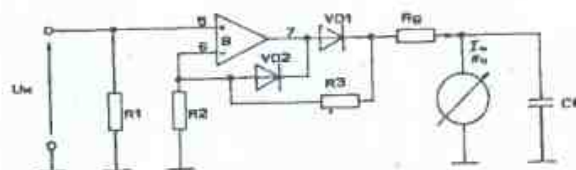


$$U_{\max, \text{eff}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot I_{\max} \cdot (Rг + Rи)$$

$$U_{\max, \text{eff}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \cdot I_{\max} \cdot (Rг + Rи)$$

фиг. 5.6

За повишаване на чувствителността детекторната част се включва в схема на електронен усилвател обхванат от дълбока отрицателна обратна връзка (фиг. 5.7), а за намаляване на пулсациите, паралелно на стрелковата система се включва филтриращ кондензатор.



фиг. 5.7

$$U_{\max, \text{eff}} = \frac{R2}{(R2 + R3)} \cdot \frac{\pi}{\sqrt{2}} \cdot I_{\max} \cdot (Rг + Rи)$$

Електронните волтметри се характеризират с основна и допълнителна грешка:

-Основната грешка се определя при нормални условия на околната среда. Источници на основната грешка са изместване на нулата на стрелковата система и усилвателя, грешка от неточна калибровка, нелинейност на усилвателя, промяна на параметри от стареене на елементи и др.

-Допълнителната грешка се определя при изменение на околните условия на работа - температура, влажност, захранващо напрежение и др.

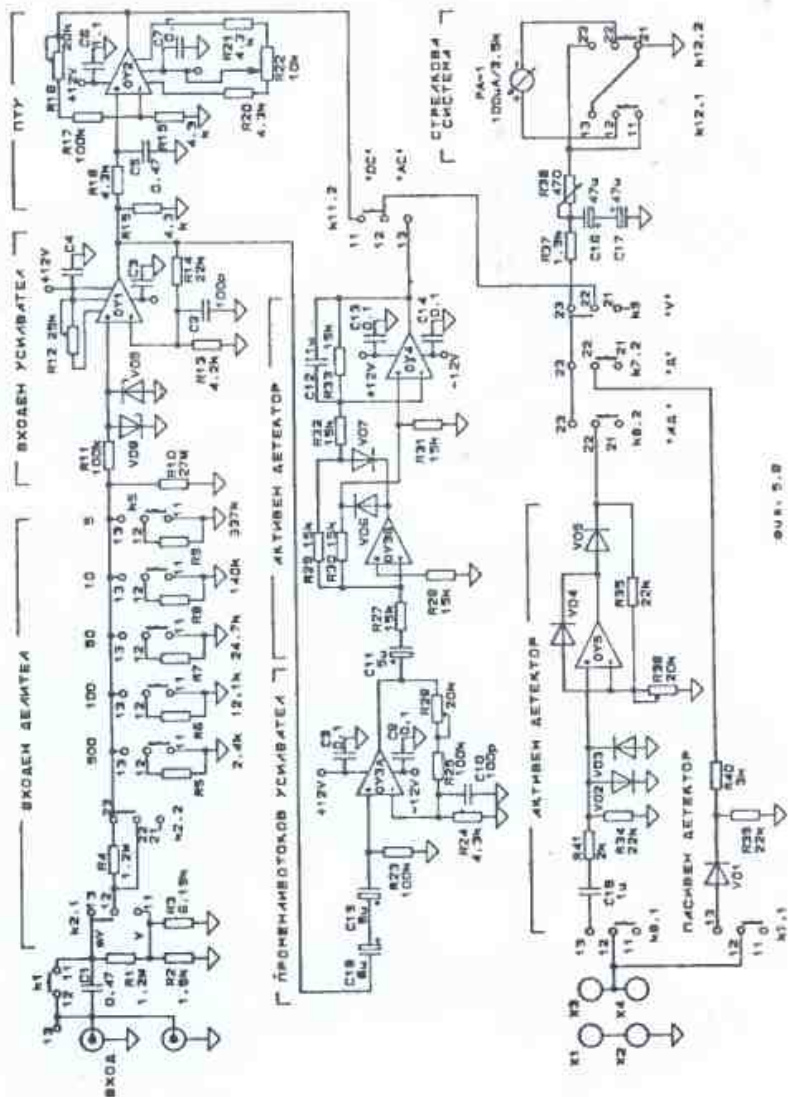
Принципна електрическа схема на аналогов волтметър АВ-01.

Принципната електрическа схема на АВ-01 е показана на фиг. 5.8. В нея се отличават като обособени структури, комбиниран волтметър за измерване на променливо и постоянно напрежение, схема на активен детектор и схема на пасивен детектор. Стрелковата система РА-1 обслужва и трите части на схемата, чрез подходящото и включване към тяхните изходи. Двата коаксиални входа, включени в паралел са входове на комбинирания волтметър. Входовете на активния и пасивния детектор са също два, включени в паралел, но са изпълнени с входни букси за кабели с шекерни накрайници.

Схема на комбиниран волтметър.

Последователно във входната верига на схемата е включен разделителен кондензатор С1. Когато, чрез бутон разположен върху лицева панел на уреда се избере режим на работа AC , този кондензатор се закъсява. Входен делител R1 и R2 || R3 да се обезпечават затихване 1000 пъти. Така измервателните обхвати се разделят на две групи - волтови и милivolтови. За всяка група, чрез делители R4 - R5, R6, R7, R8, R9, R10 се получават подобхвати 1 mV (5 mV за постоянно напрежение), 5 mV; 10 mV; 50 mV; 100 mV; 500 mV; 1V и т.н. Входът на първото усилвателно стъпало реализирано с операционен усилвател LF356 е защитен от пренапрежения с резисторно-диодната група R11, VD8 и VD9. Това предусилвателно стъпало усилва както променливо, така и постоянно напрежение.

Нормализирането на сигнала за измерване на постоянно напрежение се извършва от ОУ2. При измерване на променливо напрежение нормализирането на сигнала става с ОУ3А, а детектирането - с активния детектор изграден с ОУ3В и ОУ4.



Нулирането при постояннотокови измервания се осъществява за най-чувствителния измервателен обхват, чрез регулатор "нулиране", изведен на лицевия панел на уреда.

Калибровката на уреда се осъществява, чрез регулатор "калибровка" като на входа на волтметра се подава променливо напрежение с 1V ефективна стойност.

Пасивен детектор и активен детектор.

Чрез бутон "Д" се избира работа с "пасивен детектор". Пасивният детектор е реализиран с диод VD1 и R39. Нискочестотен филтър реализиран с групата R40, R37, C16 и C17, филтрира пулсацията и предотвратява колебание на показанието при измерване на ниски честоти.

Еднополупериодния активен детектор е реализиран с операционния усилвател OY5, VD6 и VD7. Чрез бутон "АД" разположен на лицевия панел на уреда, напрежение подадено на входните букси се превключва към входа на активния детектор.

5. Контролни въпроси

5.1. Начертайте схема на постояннотоков волтметър с операционен усилвател!

5.2. Начертайте схема на активен детектор. Обяснете действието му и изведете израза за предавателната му характеристика!

5.3. Може ли по експериментален път да се определи адитивната и мултипликативната грешка на аналоговия волтметър! Ако може опишете как!

5.4. Начертайте схема на опитната постановка за снемане на амплитудно-честотна характеристика на волтметри! Определете изискванията към допълнителната измервателна апаратура! Опишете процедурите при тяхното снемане!

VI. Цифрови мултиметри.

1. Цел на упражнението.

Целта на упражнението е да се запознаят студентите с устройството и припипта на действие на цифрови мултиметри. Извършвайки предвидените измервателни операции и изследвания студентите се запознават с техническите параметри на тези уреди и с особеностите при тяхното използване.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното занятие е необходима следната апаратура и допълнителни съоразения.

2.1. Цифров мултиметр M103-1

Цифровият мултиметр M103-1 измерва постоянни и променливи напрежения и ток, както и съпротивления. Цифровата индикация е с разрядност 3 1/2 цифри. Характеризира се със следните технически показатели.

2.1.1. Обхвати и точност при измерване на постоянно и променливо напрежение - табл.6.1.

Таблица 6.1.

№	Обхват	Разрешение	Грешка-постоянно U ±(A% от Ux+m-енр)	Грешка-променливо U ±(A% от Ux+m-енр)
1.	199.9 mV	0.1 mV	0.5% + 2	1% + 2
2.	1.999 V	1 mV	0.8% + 2	
3.	19.99 V	10 mV	0.8% + 2	
4.	199.9 V	100 mV	0.8% + 2	
5.	500 V	1 V	0.8% + 2	

* Всички грешки се дават, чрез мултипликативната съставка

A % от измерена стойност Ux и адитивна съставка - брой единици от най-малкия разред - m-енр.

2.1.2. Обхвати и точност при измерване на постоянен и променлив ток - табл.6.2.

Таблица 6.2.

№	Обхват	Разрешение	Грешка ±(A% от Ix+m-енр)
1.	199.9 μA	0.1 μA	1% + 2
2.	1.999 mA	1 μA	
3.	19.99 mA	10 μA	
4.	199.9 mA	0.1 mA	
5.	1.999 A	1 mA	

2.1.3. Обхвати и точност при измерване на съпротивление - табл. 6.3.

Таблица 6.3.

№	Обхват	Разрешение	Грешка ±(A% от |x+m-амр)
1.	199.9 Ω	0.1 Ω	1 % + 2
2.	1.999 kΩ	1 Ω	
3.	19.99 kΩ	10 Ω	
4.	199.9 kΩ	100 Ω	
5.	1.999 MΩ	1 kΩ	

2.1.4. Входно съпротивление при измерване на напрежение - 10 MΩ ± 5%.

2.1.5. Честотна лента при измерване на променлив ток и напрежение 20Hz - 20 kHz.

2.1.6. Под на напрежение на входа на уреда при измерване на съпротивление ≤ 200 mV за края на всеки обхват.

2.2. Прецизен волтметър за постоянно и променливо напрежение с основна грешка ≤ 0.1% и честотна лента 10 Hz - 100 kHz.

2.3. Генератор на синусоидални сигнали (fmin ≤ 10 Hz, fmax ≥ 100kHz).

2.4. Регулируем източник на стабиизирано напрежение 0 - 10V.

2.5. Набор от резистори с известни стойности с толеранс ±0.1%.

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучат принцип на действие и схемата на цифров мултиметър M103-1 описан в точка 4.

3.2. Да се изчисли грешката внесена от входното съпротивление на мултиметра при измерване на напрежение от източник с вътрешно съпротивление R_i = 100 kΩ.

3.3. Да се изчисли грешката, внесена от собственото съпротивление на мултиметра при измерване на постоянен ток I_x = 100mA, ако съпротивлението в измервателния контур е R₁ = 250Ω, а съпротивлението на амперметъра е R₂ = 1 Ω.

3.4. Да се провери точността на мултиметра при измерване на постоянно напрежение.

Осъществява се схема на опитната постановка съгласно фиг. 6.1.



фиг. 6.1

За определен измервателен обхват (например 200mV) се задават последователно постоянни напрежения за 5 - 10 точки от обхвата. За всяка точка се отчита от прецизен волтметър "точната стойност" U_{ет} на подаденото напрежение. Получените резултати се нанасят в таблица 6.4.

Таблица 6.4

U _{ет} [mV]							
U _{изм.} [mV]							
$\delta = \frac{U_{изм} - U_{ет}}{U_{ет}} \cdot 100, [\%]$							
бдоп*. [%]							
ДА/НЕ							

* бдоп. се изчислява за всяка точка като се отчитат нормите за адитивната и мултипликативната грешка дадени в табл. 6.1.

Аналогична проверка се извършва и за останалите измервателни обхвати.

3.5. Да се провери точността на мултиметра при измерване на променливи напрежения.

Осъществява се схема на опитната постановка показана на фиг. 6.2.



фиг. 6.2

Проверката на точността на мултиметра при измерване на променливи напрежения се извършва по същия начин, както в точка 3.4

3.6. Да се изследва честотната грешка на мултиметра при измерване на променливи напрежения.

Честотната грешка на мултимера се извършва по схема на опитната постановка от фиг. 6.2 в следната последователност:

1.) Установява се изследвания мултиметр M103 в режим измерване на променливо напрежение.

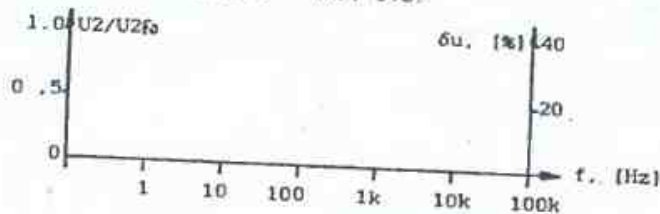
2.) Задава се от генератора синусоидален сигнал с честота $f_0 = 1\text{kHz}$, и ниво $U_1 = 1\text{V}$, отчитено от прецизен волтметър. Прави се отчет за нивото на сигнала $U_2 f_0$ от индикацията на изследвания мултиметр M103.

3.) Изменя се честотата на сигнала, като се поддържа неизменна амплитудата му ($U_2 = U_1 = 1\text{V}$) и се отчитат съответните показания U_2 от изследвания мултиметр. Изчислява се допълнителната грешка от честотни изкривявания δf . Получените резултати се нанасят в таблица 6.5.

Таблица 6.5

f, [Hz]	1	10	100	1 k	10 k	100 k
U ₂ , [V]						
δf, [%]						

Построяват се графиките на АЧХ на M103 и графиката δf като функция на честотата f - фиг. 6.3.



фиг. 6.3

3.7. Да се провери точността на мултимера при измерване на съпротивления.

Измерват се прецизни резистори, чиято нормирана стойност се приема за образцова - R_{ет}. Грешката се формира от разликата на тази стойност спрямо измерената.

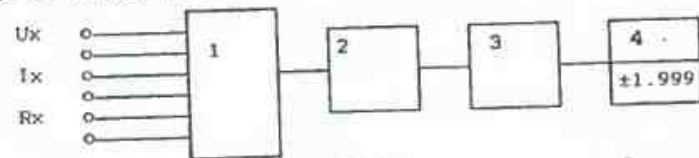
$$(6.1) \quad \delta R = \frac{R_{изм} - R_{ет}}{R_{ет}} \cdot 100, [\%].$$

Измерванията се провеждат за 7 точки от избран измервателен обхват и за по една точка от останалите обхвати. Резултатите се отразяват в таблица (аналогична на таблица 6.4).

4. Теоретична част

4.1. Обобщена структурна схема на цифров мултиметър M103

Обобщената структурна схема на цифров мултиметър M103 е показана на фиг. 6.4. Цифровият мултиметър има три самостоятелни входа за измерване: U_x, I_x и R_x.

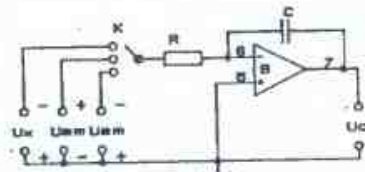


фиг. 6.4

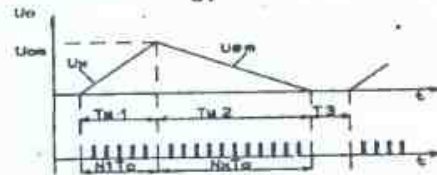
В схемата са включени:

- 1.) преобразователен блок;
- 2.) усилвателен блок;
- 3.) аналого-цифров преобразувател;
- 4.) блок за цифрова индикация.

В цифровия мултиметър се използва специализирана интегрална схема ICL 7106. Една от заложените функции в тази схема е аналого-цифрово преобразуване, осъществено по метода на двутактното интегриране. Принципът на преобразуване е илюстриран на фиг. 6.5.



а) 1



б) 1
фиг. 6.5

В първия такт към входа на интегратора се подава измерваното постоянно напрежение U_x, което в случая е прието с отрицателна полярност. Валидни са връзките:

$$(6.2) \quad U_o = -\frac{U_x}{RC} \cdot t ; \quad \frac{dU_o}{dt} = -\frac{U_x}{RC} \quad [V/s].$$

$$(6.3) \quad U_{om} = \frac{|U_x|}{RC} \cdot T_{i1} = \frac{|U_x|}{RC} \cdot N1 \cdot T_o, [V].$$

$$T_{i1} = N1 \cdot T_o$$

Във втория такт към входа на интегратора се превключва образцова стойност на напрежение - U_{et} с поляритет, обратен на поляритета на измерваното напрежение U_x .

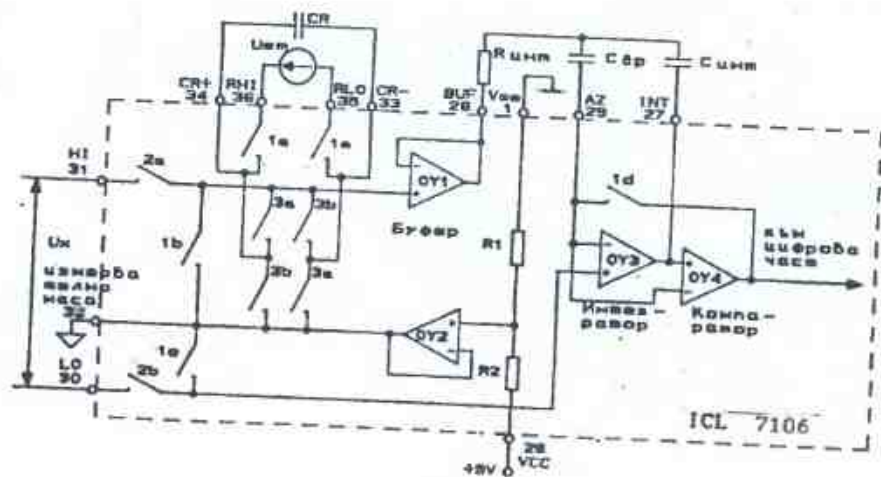
Кондензаторът се разрежда и когато напрежението в изхода достигне нула, се преустановява процеса. През този такт брояч в ИС ICL 7106 преброява N_x импулса. Временият интервал е $T_{i2} = N_x \cdot T_o$ и за напрежението U_{om} може да се напише,

$$(6.4) \quad U_{om} = \frac{U_{et}}{RC} \cdot T_{i2} = \frac{U_{et}}{RC} \cdot N_x \cdot T_o, [V].$$

Като се приравнят изрази (6.3) и (6.4) се получава функцията на аналогово-цифровото преобразуване,

$$(6.5) \quad U_x = U_{et} \frac{N_x}{N1}, [V].$$

Опростената структура на аналоговата част схемата ICL 7106 е представена на фигура 6.6. Аналогово-цифровото преобразуване се извършва в три фази. В първата фаза се компенсира входното напрежение на несиметрия на аналоговата част на АЩП и се запомня стойността на еталонното напрежение U_{et} . За тази цел електронните ключове 1a, 1b, 1c и 1d се включват, а всички останали се изключени.



Фиг. 6.6

При така образуваната конфигурация кондензаторът CR се разрежда до стойността на U_{et} през електронните ключове 1a. Компенсацията на входното напрежение се извършва чрез еквивалентно вътрешно закъсяване входа на АЩП посредством 1b и 1c. Сумарното действие на входните напрежения на несиметрия на буфера OY1, интегратора OY3 и компаратора OY4 се запомня, като компенсираше напрежение върху Cдp. Заредването на Cдp става през изходите на буфера OY1, компаратора OY4 и през резистора Rинт. Втората фаза е първият такт от двутактното интегриране. Прекъсват се всички вериги използвани в първата фаза и се затварят електронните ключове 2a и 2b. Входното напрежение, приложено между входовете "HI" и "LO" се подава диференциално спрямо измервателната маса към измервателната част на схемата. Напрежението от изхода на буферния усилвател OY1 се интегрира, като стойността му се сумира със запомнената в Cдp. В края на втората фаза се изключват ключове 2a, 2b и се включва 1c

Анализира се изходното състояние на компаратора и чрез ключове 3a или 3b, напрежението до което е зареден кондензатора C се подава с обратна полярност спрямо входното измервано напрежение. Това е началото на трета фаза от работата на АЩП. Времето, за което изходното напрежение достига до нула е времетраенето на третата фаза или вторият такт на двутактното интегриране.

Получаването на числов еквивалент на резултата от измерването се постига в цифровата част на ICL 7106 чрез измерване на времения интервал на втория такт на интегриране. Полученият цифров код се запомня в регистър и през дешифратор се подава за индикация. Осигуряването на вътрешна измервателна маса за 1-1.1% изместена на около 2,6 V спрямо цифровата маса се постига в резистивния делител R1, R2 и буферния усилвател OY2.

Структурни схеми при измерване на напрежение, ток и съпротивление.

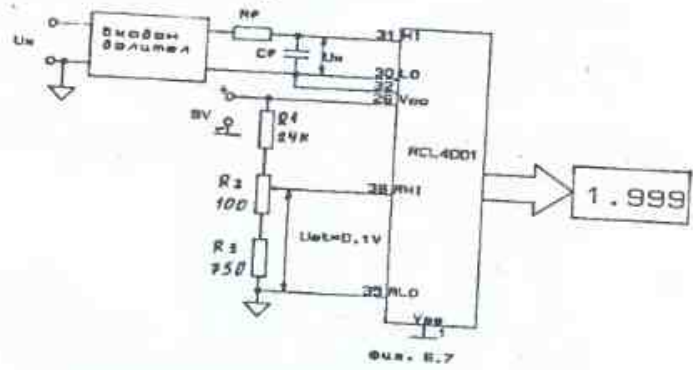
Организация на схемата при измерване на постоянно напрежение е показана на фиг. 6.7. Входния делител нормализира нивото на сигнала постъпващо на входа на АЩП при калибровка. Чрез регулиране на напрежението U_{et} се установява показание 100.0 на цифровата индикация, когато се подаде входно напрежение $U_x = 100 \text{ mV}$.

Организацията на схемата при измерване на ток е показана на фиг. 6.8. Токът се пропуска през шунтови резистори $R_m = R_{et}$ и се преобразува в напрежение: $U_x = R_{et} \cdot I_x$. Като се има предвид (6.5) за функцията на преобразуване се получава:

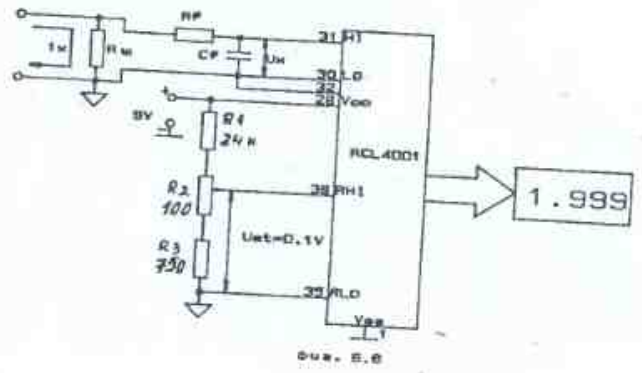
$$(6.6) \quad I_x = \frac{U_{et}}{R_m} \cdot \frac{N_x}{N_1}$$

При измерване на съпротивление (фиг. 6.9.) напрежението U_x се подава към входа на интегратора в първия такт на интегриране, а напрежението U_{et} - във втория такт. Въз основа на (6.5) се получава функцията на преобразуване на измерваното съпротивление R_x в цифров код.

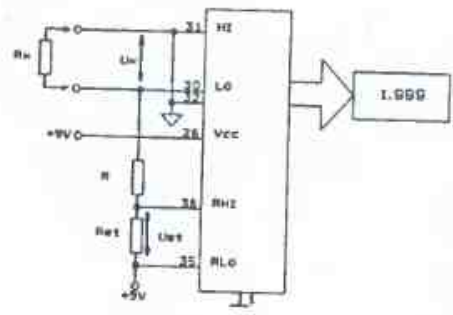
$$(6.7) \quad R_x = R_{et} \cdot \frac{N_x}{N_1}$$



Фиг. 6.7



Фиг. 6.8



Фиг. 6.9

5. Контролни въпроси.

- 5.1. Обяснете аналогово-цифровото преобразуване, използващо метода на двутактно интегриране. Изведете израз (6.5)!
- 5.2. Как е приложен този метод в цифровия мултиметр M103-1? На какви фази е разделен измервателният процес?
- 5.3. Какви основни възли притежават цифровите мултиметри?
- 5.4. Начертайте структурна схема на опитната постановка за проверка на точността на цифровия мултиметр при измерване на постоянни напрежения! Какви са изискванията към допълнителната измервателна апаратура? Опишете процедурата на проверката!

VII. Аналогово измерване на честота и фазови разлики.

1. Цел на упражнението.

Целта на упражнението е да се запознаят студентите с аналогови методи за измерване на честота и фазови разлики и съответни схеми решения за реализация на тези методи. В процеса на изпълнение на поставените задачи те придобиват знания и практически умения да изследват параметрите на съответната измервателна апаратура.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на упражнението е необходима следната техническа окомплектовка:

2.1. Лабораторен макет "Аналогов честотомер-фазомер ЧФ-1".

Включва в обща конструкция следните функционални блокове: честотомер, фазомер, АС-генератор на синусоидално напрежение и дефазатор.

2.1.1. Аналогов честотомер.

Таблица 7.1. Измервателни обхвати и основни грешки за тях.

№	обхват	грешка $\pm(A\% + a)^*$
1	0 - 100 Hz	1% + 3 Hz
2	0 - 1000 Hz	1% + 30 Hz
3	0 - 10 kHz	1% + 0.3 kHz
4	0 - 100 kHz	1.5% + 3 kHz

* A % - % от измерената стойност;

a - адитивна съставка на грешката.

-ниво на входния сигнал: 10mV - 5V;

-входно съпротивление: 2,2 MΩ ±5%.

2.1.2. Аналогов фазомер.

Таблица 7.2. Измервателни обхвати.

№	обхват	грешка $\pm(A\% + a)$
1	0 - 20°	1% + 1°
2	0 - 50°	1% + 2°
3	0 - 100°	1% + 5°
4	0 - 200°	1% + 10°

-честотен обхват: 100 Hz - 100 kHz.

-ниво на входния сигнал: 25 mV - 5 V.

-входно съпротивление за канали А и В - 1 MΩ ± 5%.

-изход "TTL" - импулси с продължителност пропорционална на фазовата разлика между двата сигнала.

2.1.3. Генератор на дефазирани сигнали.

-честота на дефазирани сигнали: 100 Hz; 1 kHz и 10 kHz / ± 1%.

-три изхода: основен /sin/; допълнителен /cos/; ъгъл на дефазирание спрямо основния сигнал 90° ±2%; изход с плавно изменение на фазата 5°-180°; ниво на изходящите сигнали - 1V ± 5%.

-изходно съпротивление - 20 Ω.

2.2. Електронно-лъчев осцилоскоп - f ≥ 10 MHz, двуканален.

2.3. Електронен волтметър за променливи напрежения /10 mV - 10 V, f > 100 kHz/

2.4. Цифров честотомер / f > 40 MHz / с възможност за измерване на фазови разлики.

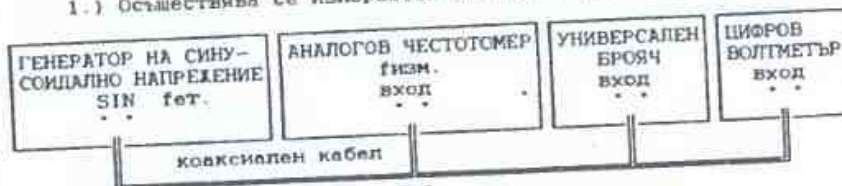
3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучат принципата на действие и електрическите схеми на основните функционални блокове в лабораторния макет описани в т.4.1.

3.2. Да се определи теоретично грешката на предавателната функция за края на обхватите на преобразувателя честота-ток.

3.3. Да се изследва грешката на аналоговия честотомер ЧФ-1.

1.) Осъществява се измервателната постановка от фиг. 7.1.



фиг. 7.1

2.) За произволно избран честотен обхват на аналоговия честотомер (например 10 kHz) се задава от генератора напрежение с ниво 1 V ефективна стойност. Последователно от генератора се задават 10 честоти, така че да се получат показания върху скалата на аналоговия честотомер, съответстващи на зададените в таблица 7.3.

3.) Изчислява се относителната грешка на аналоговия честотомер при измерване на всяка от зададените от генератора честоти. Използва се формулата:

$$(7.1) \delta f = \frac{f_{\text{ет.}} - f_{\text{физ.}}}{f_{\text{физ.}}} \cdot 100, [\%]$$

където: $f_{\text{ет.}}$ са стойностите за честотата, отчетени от цифровия честотомер; $f_{\text{физ.}}$ са стойностите за честотата, отчетени по скалата на аналоговия честотомер;

4.) За всяка измерена честота се изчислява допустимата относителна грешка $\delta f_{\text{доп}}$. Използват се данните от Таблица 7.1. и следните формули:

$$(7.2) \Delta f_{\text{доп}} = \frac{\lambda \%}{100} \cdot f_{\text{физ.}} + f_a [\text{Hz}]; \delta f = \frac{\Delta f_{\text{доп}}}{f_{\text{физ.}}} \cdot 100 [\%].$$

Получените резултати се нанасят в Таблица 7.3. и се анализира, дали грешките в измерванията са в регламентирани граници.

Таблица 7.3

Деления 40-1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$f_{\text{физ.}}$ [Hz]										
$f_{\text{ет.}}$ [Hz]										
δf [%]										
$\delta f_{\text{доп}}$ [%]										

3.4. Да се изследва точността при измерване на фазови разлики с аналоговия фазомер!

1.) Осъществява се схема на опитната постановка, съгласно фиг. 7.2.



фиг. 7.2

2.) Установява се честота на вграденния в макета RC-генератор $f = 1 \text{ kHz}$.

3.) Включва се измервателен обхват на фазомера $\gamma_{\text{max}}=50^\circ$.

4.) Установява се универсалния брояч в режим измерване на интервал време ΔT .

5.) Калибрира се фазомера за избрания обхват.

Калибровката се извършва чрез задаване на фазова разлика (интервал ΔT), съответстваща на крак на обхвата и с помощта на потенциометъра РЗ стрелковата система се установява в максимално показание.

6.) За десет точки, разположени равномерно по обхвата се задават съответни фазови разлики чрез регулаторите на активния дефазатор.

7.) За всяка от тези точки се отчита от универсалния брояч $\Delta T_{\text{уб}}$ и се изчислява фазовата разлика $\gamma_{\text{уб}}$, която се приема за левоотчетена (еталонна). Използва се формулата:

$$\gamma_{\text{уб}} = \Delta T_{\text{уб}} \cdot f \cdot 360, [^\circ].$$

7.) Получените резултати се нанасят в Таблица 7.4.

Таблица 7.4

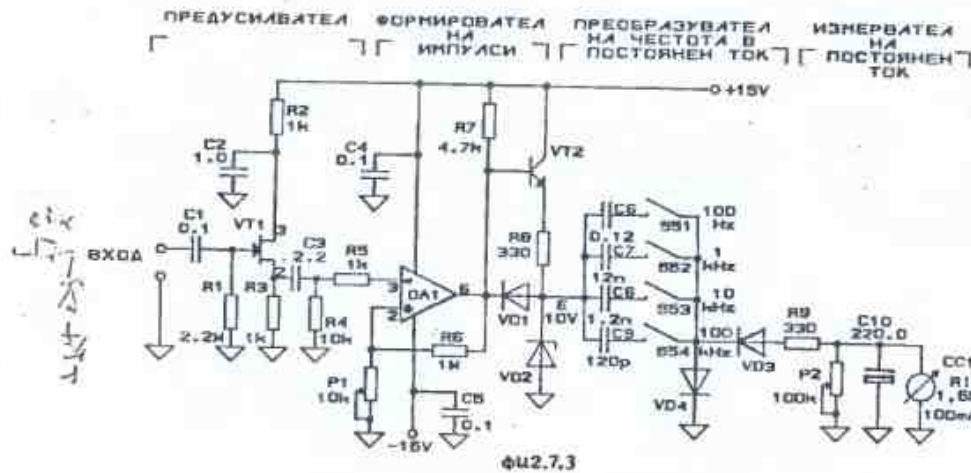
Деления 40-1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$\gamma_{\text{физ.}}$ [°]										
$\Delta T_{\text{уб}}$ [ms]										
$\gamma_{\text{уб}}$ [°]										
$\delta \gamma_{\text{физ.}}$ [%]										

8.) Аналогични изследвания се правят и за честота $f = 100 \text{ Hz}$ при измервателни обхвати 50° и 200° .

4. Теоретична част.

4.1. Аналогово измерване на честота.

Преобразувателят "честота в постоянен ток" е изграден на принципа на отдаване на постоянен заряд в измервателен контур, за време $(T_x/2)$, пропорционално на неизвестната честота $f(x)$. Средната стойност на тока в измервателната верига се определя от постоянния заряд и времето T_x . Електрическата схема, реализираща този принцип е показана на фиг. 7.3.



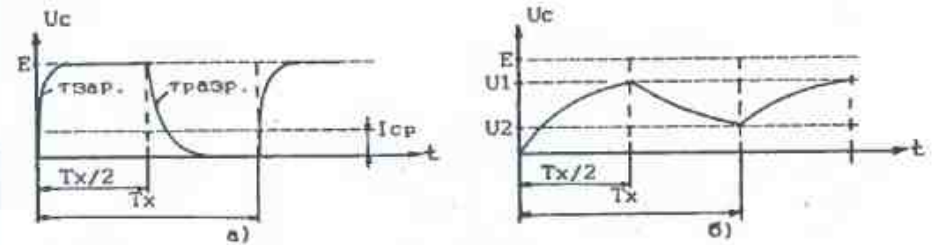
Предназначението на отделните елементи в нея е следното. Транзистор VT1 осигурява голямо входно съпротивление на измервателя. Формирователят на правоъгълни импулси е реализиран с интегрален компаратор OA1. Приложената положителна обратна връзка чрез резистор R6 и потенциометър P1 осигурява предавателна характеристика с хистерезис, чрез което се повишава шумоустойчивостта. Нивото на входния сигнал, при което се задейства честотомера се регулира чрез потенциометъра P1.

Чрез превключване на кондензаторите C6-C9 се избират различните измервателни обхвати. С потенциометъра P2 се регулира чувствителността на отклонение на стрелката на системата. Използува се за калибровка на уреда за определен измервателен обхват.

За положителния полупериод на входното напрежение транзисторът VT2 е отпушен и включения кондензатор (C6-C9) се зарежда до пробивното напрежение на ценовия диод VD2 (10V). Зарядната верига е: +Eс (+15 V), колектор-емитер (VT2), съпротивление R8, включения кондензатор (C6-C9), диод VD4 и маса. Времеконстантата на зарядната верига е $t_{зар.} = C \cdot R8$.

За отрицателния полупериод на входното напрежение транзисторът VT2 е затворен и кондензаторът C се разрежда до напрежение определено от разликите в положителните падове на включените в права посока диод VD1 и диода VD3. Разрядната верига е: диод VD1, изход на операционния усилвател OA1, стрелкова измервателна система, резистор R9, диод VD3. Времеконстантата на разрядната верига е $t_{разр.} = C (R9 + R_{в.с.})$

В диаграмите на фиг. 7.4.а. е показан нормалния случай, когато кондензаторът успява да се зареди до напрежение Eo (10V) за времето на положителния полупериод $T_x/2$ и да се разрежда напълно за времето на отрицателния полупериод. Количеството електричество при зареждане е: $Q = C \cdot E_0$. При разреждане средната стойност на тока е: $I_{ср.} = Q/T_x = Q \cdot f_x = C \cdot E_0 \cdot f_x$.



фиг. 7.4.

Следователно, идеалната (теоретична) функция на преобразуване при този метод за измерване на честота е:

$$(7.3) \quad I = K_f \cdot f_x = C \cdot E_0 \cdot f_x,$$

където $K_f = 1/f_x$ [A/Hz] е коефициента на преобразуване.

За по-високи честоти времената на зареждане и разреждане стават съизмерими с времеконстантите $t_{зар.}$ и $t_{разр.}$ (фиг. 7.4.б). За средната стойност на тока през стрелковата система в този случай се получава:

$$(7.4) \quad I' = f_x \cdot C \cdot E_0 \cdot [1 - \exp(-T_x/2t_{зар.}) - \exp(-T_x/2t_{разр.})]$$

Грешката при високи честоти е:

$$(7.5) \quad \delta f_{в.ч.} = (I' - I) / I \text{ или}$$

$$\delta f_{в.ч.} = -[\exp(-T_x/2t_{зар.}) - \exp(-T_x/2t_{разр.})] \cdot 100 \text{ (\%)}$$

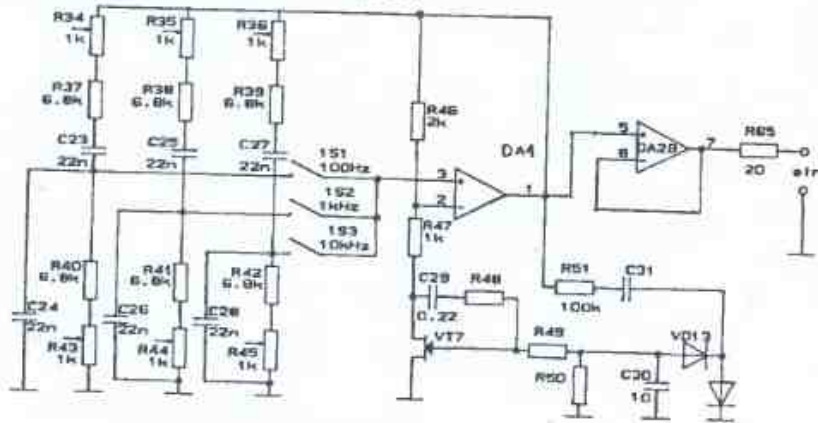
4.2. Устройство и принцип на действие на RC-генератор, активен дефазатор и аналогов фазомер.

RC-генератора и активния дефазатор са взаимно свързани схемни модули. Върху лицевия панел на уреда са изведени 3 двойки букси: \sin (0°), \cos (90°) и VAR. Последният изход е за напрежение.

чието фаза може да се изменя в граници 0° - 180° спрямо напрежение "sin". Чрез три бутона се сменя честотата на генерираните сигнали: 100 Hz, 1 kHz и 10 kHz.

Нискочестотен RC-генератор

Генераторът на фиксирани честоти - фиг.7.5 - е изпълнен по схема с мост на Робинзон-Вий и операционен усилвател DA1 /1/2 1458/. Стабилизацията на амплитудата се осъществява от VT1, участващ като регулируемо съпротивление във веригата на отрицателната обратна връзка. Буферния усилвател-DA2, разделя изхода от автогенераторната част на схемата.

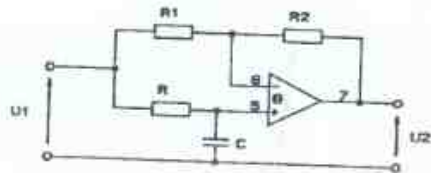


Фиг. 7.5

Дефазатори.

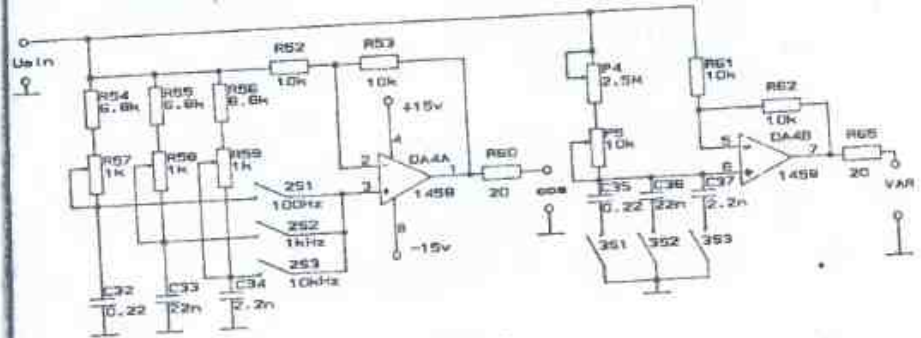
На фиг.7.6 е дадена в опростен вид дефазиращата схема. Модулът на коефициента на предаване на напрежението в тази схема не зависи от честотата /равномерна амплитудна характеристика/. Но фазовото отнемане на изходното напрежение спрямо входното напрежение е функция както на честотата, така и на RC-времеконстантите съгласно израза:

$$(7.6) \quad \varphi = \pi - 2\arctg(1/\omega RC).$$



Фиг. 7.6

Привидните електрически схеми на фиксирания и плавно регулируемия дефазатор са дадени на фиг. 7.7. Дефазаторът на 90° и регулирания дефазатор от 0° до 180° са реализирани по схеми на активни дефазатори. Промяната на дефазирането от 0° до 180° се извършва на две степени - грубо, чрез потенциометър P4 и фино, чрез потенциометър P5.



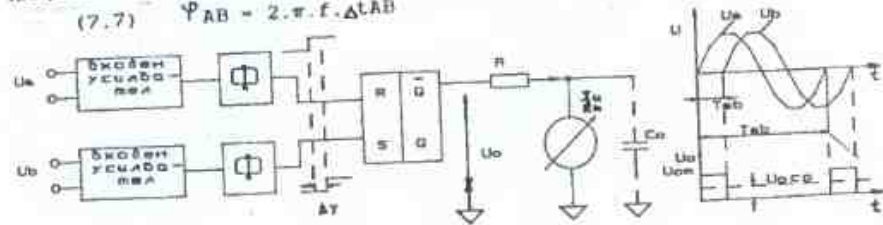
Фиг. 7.7

Аналогов фазометр.

Опростената структурна схема на аналогов фазометр и времедиаграмите показани на фигура 7.8 позволяват да се изясни съвместно на преобразуването на фазова разлика в постоянен ток.

Двете напрежения, чието фазова разлика се изследва, се подават на вход А и Б на схемата. Входните буферни усилватели БУ и формироващите Ф формират правоъгълни импулси фиксиращи моментите на преминаване на всяко напрежение през нулевата стойност. В изхода на RS-тригер се формира правоъгълно напрежение с широчина на импулсите, пропорционална на фазовата разлика между напреженията.

$$(7.7) \quad \varphi_{AB} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t_{AB}$$



Фиг. 7.8

Средната стойност на това напрежение, респективно средната стойност на тока протичащ през стрелковата система (магнитоелектричен тип) са:

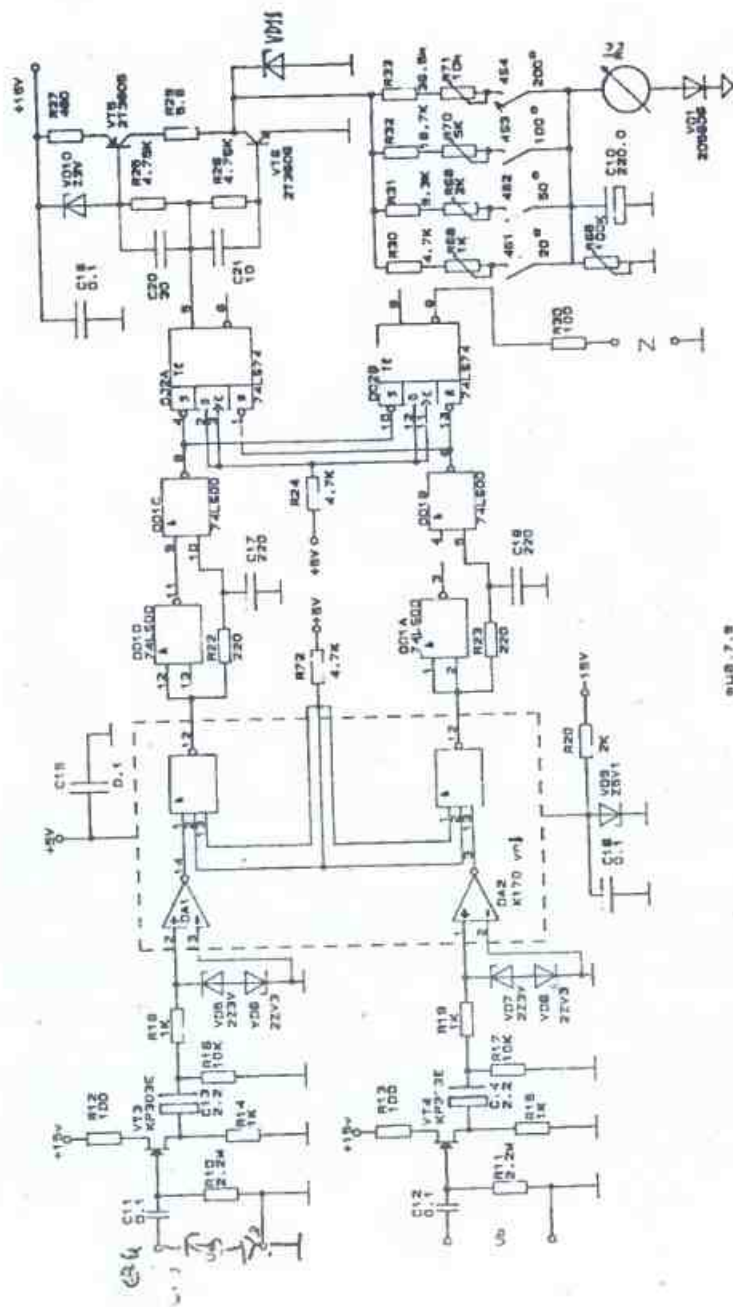
$$(7.8) \quad U_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^{t_{AB}} U_{om} dt = U_{om} \frac{\Delta t_{AB}}{T} = U_{om} \frac{Y_{AB}}{2\pi}$$

$$I_{o\text{ ср}} = \frac{U_{om}}{R} \frac{Y_{AB}}{2\pi}$$

Принципната електрическа схема на аналоговия фазомер в уреда ЧФ-1 е показана на фиг. 7.9. Буферните усилватели на двата канала са изпълнени с полевите транзистори VT3 и VT4. Посредством двоичен компаратор (K170УП1) формирателите на стробиращи импулси (DD1С, DD1D, R22, C17 и DD1A, DD1B, R23, C20), действуват преобразувателя на фазова разлика във временен интервал - тригера DD2A. В изхода на формирателя на образцови по амплитуда импулси VT5, VT6, VD11 се получава правоъгълно напрежение с коефициент на запълване и средна стойност, пропорционални на фазовата разлика. Средната стойност на тока, протичащ през стрелковата система се определя от резисторите R30 - R33, чрез смяната на които се реализират различните измервателни обхвати.

5. Контролни въпроси

- 5.1. Обяснете принципа на действие на кондензаторния честотомер и изведете функционалната зависимост $I_o = f(f_x)$!
- 5.2. Обяснете принципа на действие на кондензаторния честотомер изпълнен по схемата на фиг. 7.3! Каква е ролята на отделните елементи в схемата?
- 5.3. Изведете източници на грешки, произтичащи от принципа на измерване на честота и конкретната схемна реализация!
- 5.4. Какво представлява фазовата разлика между две периодични колебания? Каква е връзката между фазов ъгъл, временен интервал и честота?
- 5.5. Кои са основните параметри на аналогов фазомер? Как се проверяват експериментално?
- 5.6. Кои са основните параметри на източника на дефазирани напрежения? Как се проверяват?



Фиг. 7.9

VIII. УНИВЕРСАЛНИ БРОЯЧИ

1. Цел на лабораторното упражнение.

Целта на лабораторното упражнение е студентите да опознаят структурата и функционалните възможности на универсалните броячи, да се научат да работят с тях и да изследват параметрите им.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното занятие е необходима следната апаратура:

2.1. Функционален генератор ($f \geq 10 \text{ MHz}$) - 2 бр.

2.2. Електронен осцилоскоп ($f \geq 30 \text{ MHz}$).

2.3. Аналогов честотомер-фазомер ЧФ-1.

2.4. Универсален брояч УБ-1.

Универсалният брояч УБ-1 измерва честота, период, продължителност на импулси, временни интервали, отношение на две честоти и фазови разлики. Максимален брой значещи цифри на индикацията - 10. В различните режими на работа има следните технически параметри.

2.4.1. Измерва честота на вход А в обхват 1 Hz - 40 MHz.

- с основна грешка $\pm (\Delta f_0/f_0 + m\text{-емр}) = (1.10E-6 + 1 \text{ емр})$; където: $\Delta f_0/f_0$ е грешката на кварцовия генератор, а $m\text{-емр}$ е брой единици от най-младшия разряд.

- време за измерване 10 ms; 0.1s и 1s.

- амплитуда на входния сигнал: 150 mV - 15 V.

2.4.2. Измерва период на входа А в обхват 0.05 ms - 10 s.

- с основна грешка $\pm \left(\frac{\Delta f_0}{f_0} + \frac{\Delta T_f}{T_0} + m\text{-емр} \right) = \pm (1.10E-6 + 1.10E-4 + 1 m\text{-емр})$.

- брой на измерваните периоди: $N = 10E_n$ ($n=0;1;2;3;4;5;6$)

където $\Delta T_f/T_0$ е грешката при формиране на импулса. При отношение сигнал-шум по-голямо от 20 dB се пренебрегва.

2.4.3. Измерване на продължителност на импулс на вход А в обхват 50ns ÷ 5s.

2.4.4. Измерване временен интервал между два импулса, подадени на вход А и вход В в обхват 100ns - 10s.

2.4.5. Измерва фазова разлика между два сигнала подадени на вход А и вход В в обхват $1' \div 35959'$.

- в честотна област 1Hz ÷ 100kHz;

- с разрешаваща способност при честота 1Hz ÷ 1kHz $1'$, 1kHz ÷ 10kHz $10'$, 10kHz ÷ 100kHz $1''$.

2.4.6. Измерва отношение между две честоти подадени на вход А и В в обхват $f_a/f_b = 1:1 - 1:4.10E6$

2.4.7. Измерва честота и период на вход С в обхват:

- честота 0.1 Hz ÷ 100 MHz $\pm (1.10E-6 + 1 \text{ емр})$;

- период 0.05 μ s ÷ 10 s. $\pm (1.10E-6 + 1.10E-4 + 1 \text{ емр})$

3. Задачи за изпълнение.

3.1. Да се разучат принципите за измерване на честота, период, отношение на две честоти и на фазови разлики разглеждани в точка 4!

3.2. Да се разучи устройството и функционалните възможности на универсален брояч УБ-1 разглеждан в точка 4!

3.3. От вход А на универсалния брояч да се измерят честоти 10 Hz; 1 kHz и 10 MHz за времена на измерване $T_{изм} = 10ms, 0.1s$ и $1s$! Да се изчислят за всички случаи относителните грешки от дискретизация бд! Получените резултати се нанесат в таблица 8.1.

Таблица 8.1

Тип	10 ms			0.1 s			1 s			
	f, [Hz]	10	1k	10M	10	1k	10M	10	1k	10M
f _{изм} , [Hz]										
бдискр. [%]										

3.4. Да се измерят същите честоти по вход С и изчислят грешките от дискретизация! Да се сравнят с тези, получени при измерване на вход А!

3.5. Да се измери на вход А на универсалния брояч периода Т на сигнали с честота на повторение 0.1 Hz; 1 kHz и 10MHz за брой на измерваните периоди $N = 1; 10; 100$. Да се изчисли за всички случаи грешката от дискретизация!

3.6. Да се измери на вход А на универсалния брояч продължителността на правоъгълни импулси зададени от функционален генератор за честоти 0.1 Hz; 1 kHz и 10 MHz, при брой на измерваните импулси $N = 1; 10; 10E+5$. Да се изчисли за всички случаи грешката от дискретизация!

3.7. Да се измери отношението между две честоти f_a и f_b , зададени от функционални генератори!

Сигналът с по-голяма честота се подава на вход А, а с по-ниска на вход В на универсалния брояч УБ-1.

3.8. Да се измерят с универсален брояч УБ-1 фазови разлики между два сигнала f_a и f_b , генерирани от RC-генератор и дефазатор, за честота на сигналите f_a и f_b 100kHz, 1kHz и 10kHz.

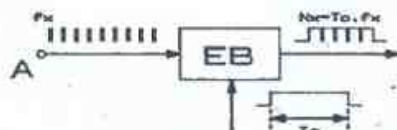
4. Теоретична част.

4.1. Устройство и принцип на действие на универсален брояч УБ-1.

Универсалния брояч УБ-1 е уред, в който измерванията се осъществяват посредством преброяване на периодически повтарящи се импулси за даден интервал от време. Възможни са следните режими на работа.

4.1.1. Режим измерване на честота.

Опростената блокова схема на уреда при измерване на честота е показана на фиг.8.1.



Фиг. 8.1

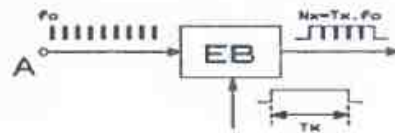
От периодичния сигнал с неизвестна честота f_x се формират краткотрайни импулси. Същите се пропускат през електронна врата ЕВ за образцов отрязък от време T_0 . Образцовите интервали от време T_0 се създават от кварцов генератор КГ и цифрово деление на честотата чрез брояч Б2. Броят на пакета импулси получен в изхода на електронната врата е $N_x = f_x \cdot T_0$. Относителната стойност на грешката при измерването е:

$$(8.1) \quad \delta f_x = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \pm \left(\frac{\Delta f_0}{f_0} + \frac{1}{N_x} \right),$$

където: $\Delta f_0/f_0$ е грешката на кварцовия генератор, а $1/N_x$ е грешката от дискретизация.

4.1.2. Режим измерване на период.

Опростената блокова схема на уреда при измерване на период е показана на фиг.8.2.



Фиг. 8.2

В този режим на работа електронната врата ЕВ се отваря за временен интервал T_x , формиран от периода на изследвания сигнал. В този случай броят на пакета импулси получен в изхода на електронната врата е $N_x = f_0 \cdot T_x$. Относителната стойност на грешката при измерването е:

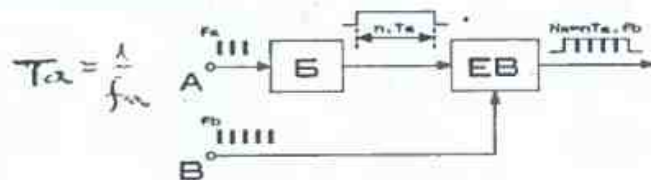
$$(8.2) \quad \delta T_x = \frac{\Delta T_x}{T_x} = \pm \left(\frac{\Delta f_0}{f_0} + \frac{1}{N_x} + \delta \phi \right),$$

където: $\delta \phi$ е допълнителна грешка при формиране на временния интервал T_x .

Грешката от дискретизация $1/N_x$ може да се намали N пъти, ако се измерят N периода.

4.1.3. Режим измерване отношение на две честоти.

Опростената блокова схема на уреда в режим измерване отношение на две честоти е показана на фиг.8.3.



Фиг. 8.3

Сигналът с честота f_a се подава на вход А на уреда.

От този сигнал, чрез спомагателен брояч Б се формира временен интервал nT_a / p / p е коефициент на броене на брояча/. През този интервал се отваря електронната врата ЕВ и броят на импулсите в изхода на схемата е $N_x = n \cdot T_a \cdot f_b$ импулси, или $N_x = n \cdot f_b / f_a$.

4.1.4. Режим измерване на временни интервали.

В този режим универсалия брояч играе ролята на цифров хронометър. Импулси СТАРТ и СТОП формират период с продължителност T_x , която отваря електронната врата ЕВ. От изхода на последната се преброяват импулси $N_x = T_x \cdot f_0$. В този случай блоковата схема на уреда е както при режим измерване на период.

4.1.5. Режим измерване на фазови разлики.

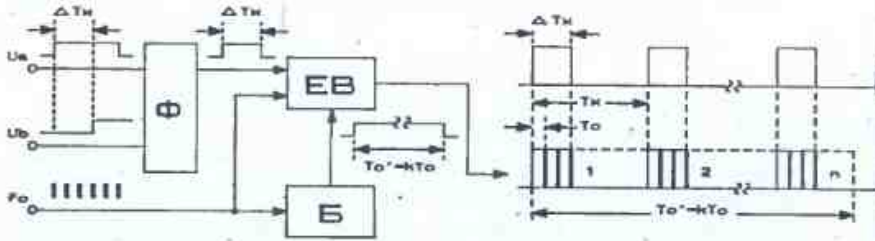
Опростената блокова схема на уреда в режим измерване на фазова разлика е показана на фиг. 8.4.

Фазовата разлика между два сигнала U_a и U_b се измерва чрез предварителното и преобразуване във временен интервал $\Delta T_{ав}$.

Използва се връзката между $\varphi_{ав}$ и $\Delta T_{ав}$:

$$(8.3) \quad \varphi_{ав} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta T_{ав} \quad \text{или} \quad \Delta T_x / T_x = \varphi_x / 360$$

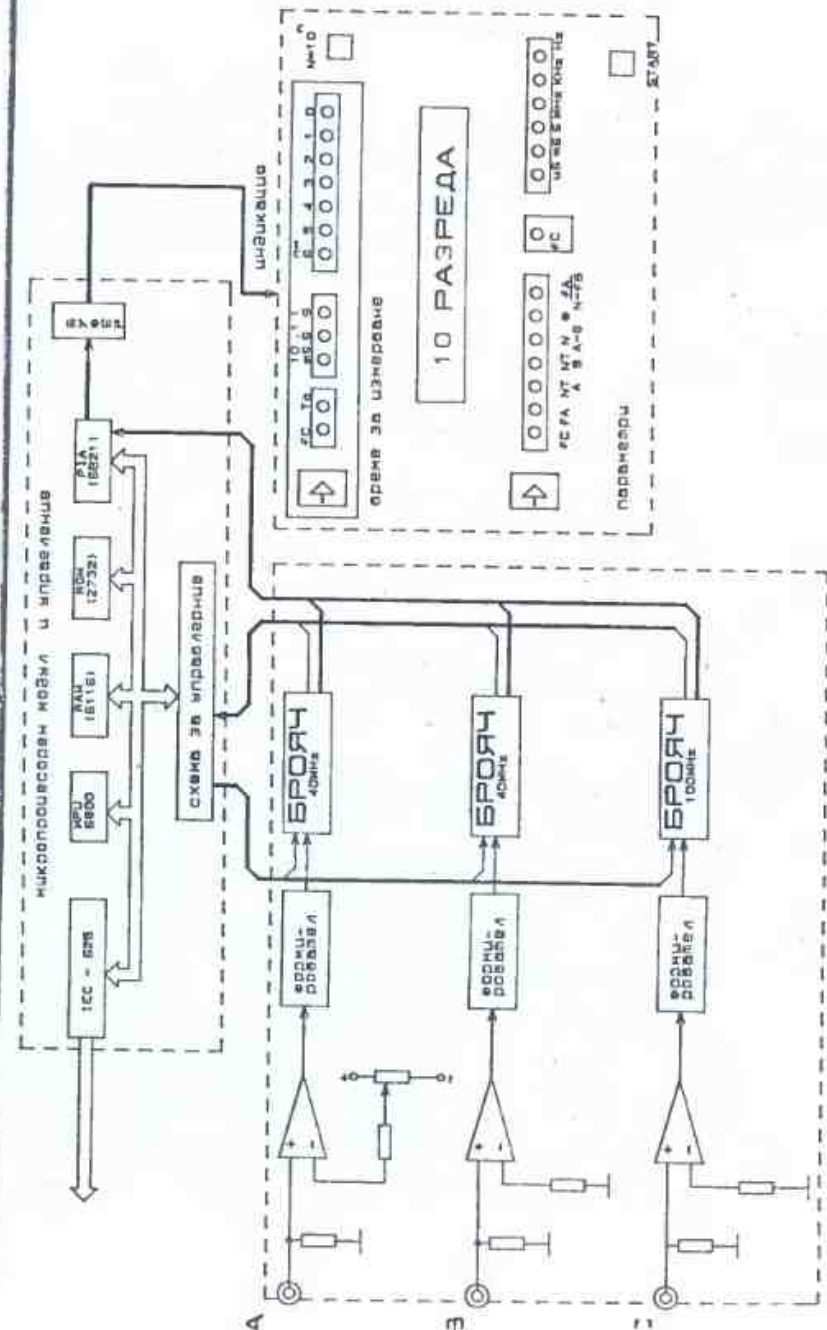
За целта се използват три входа на електронната врата, в резултат на което към основния брояч постъпват пакети от импулси. Общия брой импулси отчетени от основния брояч са $N_x = k \cdot \varphi_{ав} \cdot 360$, където k е коефициента на делене на брояч БЗ.



Фиг. 8.4

4.2. Обобщена структурна схема на универсален брояч УБ-1.

Обобщената структурна схема на уреда УБ-1 е показана на фиг. 8.5. В нея са обособени три основни модула: микропроцесорен модул, измервателен модул и модул клавиатура и индикация.



Фиг. 8.5

4.2.1. Микропроцесорен модул.

Микропроцесорният модул е изграден на базата на микропроцесор MC6800. Осигурява управление на измервателния процес, определя големината и дименсията на измерваната величина. С помощта на паралелен интерфейсен адаптер CM 602 тези резултати се извеждат на индикаторния панел.

Чрез инструментален интерфейс IEEE 488 се осигурява възможност универсалния брояч UE-1 да осъществи ефективна комуникационна връзка с други автоматизирани измервателни уреди.

4.2.2. Измервателен модул.

Измервателният модул съдържа три самостоятелни входа за измерване на избрания параметър. Всеки вход съдържа диференциални усилватели и формируватели на импулси с TTL ниво. За вход А е предвидено регулиране на нивото на един вход, с което се постига DC отместване на нивото на сработване на канала.

Измервателният модул съдържа собствен генератор на еталонна честота 10 MHz. С помощта на паралелен интерфейсен адаптер CM 602, мултиплексори и буфери е изградена схема за управление на, с помощта на която се комутират вътрешните връзки в измервателния модул, така че да се създаде необходимата измервателна конфигурация на схемата.

4.2.3. Модул клавиатура и индикация.

Това е лицевият панел на уреда. На него са разположени 10 седемсегментни индикатора за индикация на резултата от измерването. Чрез групи от светодиоди допълнително се извършва вида на измерваната величина, броя на измерванията, време за измерване, дименсия на резултата, фронт на входния сигнал, по който се провежда измерването и индикация за наличието на сигнал на входовете. На същия панел са разположени бутони за управление на уреда. Чрез тях се подава сигнал към микропроцесорния модул, който се обработва програмно, в резултат на което се определя конфигурацията на измервателната схема за измерване на съответната величина.

5. Контролни въпроси.

5.1. Обяснете принципа на цифрово измерване на честота, период, фазова разлика?

5.2. Защо при измерване на фазова разлика с универсалния брояч честотния обхват е ограничен до 100 kHz ?

IX. ИЗМЕРВАНЕ НА RLC-ПАРАМЕТРИ

1. Цел на упражнението.

Целта на упражнението е да запознае студентите с основния метод за измерване на параметрите на двуполуснади чрез преобразуване в електрическо напрежение. Студентите изучават конкретно устройството на RLC-измервател и придобиват практически умения да го използват в практиката, както и да провеждат контролни проверки на качествения му показатели.

2. Техническа окомплектовка.

За провеждане на лабораторното занятие е необходима следната измервателна апаратура и приспособления:

2.1. Набор резистори със стойности в обхвата 10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , 1 M Ω .

2.2. Набор от кондензатори със стойности в обхвата: 100 pF; 1 nF; 10 nF и 100 nF и диелектрични загуби $D < 0,001$.

2.3. Набор от бобини със стойности в обхвата 100 μ H; 1 mH и 10mH.

2.4. Измервател на параметри на двуполуснади, модел "RLC-1", със следните технически параметри.

2.4.1. Тествач сигнал - синусоидална форма, честота-5 kHz \pm 0,5%, нелинейни изкривявания \leq 0,5 %, ниво на сигнал - 100 mVrms \pm 0,1 mV.

2.4.2. Измерва активни съпротивления R и импеданси Z в измервателни обхвати и точност дадени в таблица 9.1.

Таблица 9.1.

№	Обхват за Z и R. [Ω]	Грешка \pm (% от изм.ст. + C)
1	10	1,5 % + 0,1 Ω
2	100	1 % + 0,8 Ω
3	1 k	1 % + 8 Ω
4	10 k	1 % + 80 Ω
5	100 k	1 % + 800 Ω
6	1 M	2 % + 10 k Ω

2.4.3. Обхвати и точност при измерване на C и диелектрични загуби D:

Таблица 9.2.

№	Обхват за C	Грешка ±(Δ% от изм. + C)
1	100 pF	1.5 % + 0.5 pF
2	1000 pF	1 % + 5 pF
3	10 nF	1 % + 50 pF
4	100 nF	1 % + 0.5 nF
5	1 μF	1 % + 5 nF
6	10 mF	1 % + 100 nF

Обхвати D	Грешки (% от D _{max})
0,1	5%
1	2%

2.4.4. Обхвати и точност при измерване на L и качествено фактор Q:

Таблица 9.3.

№	Обхват за L	Грешка ±(Δ% от изм. + C)
1	100 μH	1.5 % + 1 μH
2	1 mH	1 % + 5 μH
3	10 mH	1 % + 50 μH
4	100 mH	1 % + 500 μH
5	1 H	1 % + 5 mH
6	10 mF	2 % + 10 mH

Обхвати Q	Грешки (% от Q _{max})
0,1	5%
1	2%

3. Задачи за изпълнение

3.1. Да се разучи устройството и принципа на действие на уреда "RLC".

3.2. За схемата от фиг. 9.1 да се определи Ku2 за всичките измервателни обхвати, като се знае, че R₀ = 10 kΩ, I_{0 max} = 100 μA, U_x = 0,1 V-ефективна стойност. Резултатите се подредват в таблица 9.6.

Таблица 9.6

Обхват R	10 Ω	100 kΩ	1 kΩ	10 kΩ	100 kΩ	1 MΩ
R _{ет}	10 Ω	10 Ω	1 kΩ	1 kΩ	100 kΩ	100 kΩ
Ku2						

3.2. Същата задача да се реши при измерване на капацитет и индуктивност. Да се попълни таблица 9.7.

Таблица 9.7.

Обхват C	100 pF	1 nF	10 nF	100 nF	1 μF	1 μF
R _{ет}	100 kΩ	100 kΩ	1 kΩ	1 kΩ	10 kΩ	10 kΩ
Ku2						

3.3. Да се изследват техническите характеристики на измервателя "RLC-1".

3.3.1. Измерване на съпротивление.

Работата и изследванията в този режим се провеждат в следната последователност.

1.) Разучава се инструкцията за работа с уреда и се провежда измерване на съпротивление на произволно избран резистор, но с известна стойност.

2.) Избира се определен измервателен обхват и се измерват известни стойности на съпротивления за няколко точки от скалата.

3.) Изчислява се грешката.

4.) Оценява се, дали грешката е в рамките на допустимите граници. Резултатите се нанасят в таблица 9.8.

Таблица 9.8.

R _{ет} [*] , [Ω]					
R _{изм} ^{**} , [Ω]					
δ изм. [%]					
δ доп. ^{***} , [%]					
ДА/НЕ					

* R_{ет} - стойност на съпротивлението на образцов елемент.

** R_{изм} - отчетена стойност от RLCZ-измервателя.

*** δ доп - допустима стойност на относителната грешка изчислена на базата на мултипликативната и адитивна съставки, дадени в таблица 9.1.

3.3.2. Измерване на капацитет.

Изследването на капацитет се провежда аналогично, на това

за съпротивление от точка 3.3.1., като резултатите се нанасят в таблица 9.9.

Таблица 9.9.

Сет*, [Ω]					
Сизм**, [Ω]					
δ изм. [%]					
δ доп.***, [%]					
ДА/НЕ					

* Сет - стойност на капацитета на образцов кондензатор

** С - отчетена стойност от RLC-измервател

*** δ доп. - допустима стойност на относителната грешка, изчислена на базата на мултипликативната и адитивната съставки дадени в таблица 9.2.

3.3.3. Измерване на индуктивност.

Измерването на индуктивност се провежда аналогично на това от предишните точки (3.3.1 и 3.3.2), като резултатите се нанасят в таблица 9.10.

Таблица 9.10.

Let*, [Ω]					
Лизм**, [Ω]					
δ изм. [%]					
δ доп.***, [%]					
ДА/НЕ					

* L et - стойност на индуктивността на образцова бобина

** L - отчетена стойност от RLC - измервател

*** δ доп. - интегрална стойност на относителната грешка, изчислена на базата на мултипликативните съставки, дадени в таблица 9.4.

3.3.4. Измерване на импеданс

Измерването на импеданс се провежда аналогично на това от предишните точки (3.3.1, 3.3.2, 3.3.3). Необходимите стойности за импеданса се получават чрез подходящо свързване на етапонните резистори, капацитети и индуктивности. Резултатите се нанасят в таблица 9.11.

Таблица 9.11.

Zet*, [Ω]					
Zизм**, [Ω]					
δ изм. [%]					
δ доп.***, [%]					
ДА/НЕ					

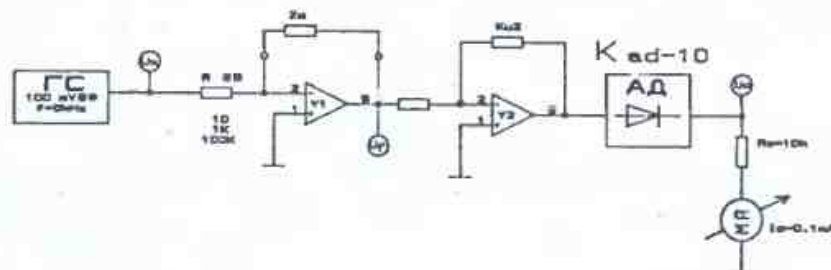
4. Теоретична част

4.1. Метод на RLC-измерване.

В измервателя на RLCZ-параметри модел "RLC-1" е приложен методът на Z-U преобразуване. В зависимост от вида на измервания елемент се създават различни измервателни конфигурации.

4.1.1. Измерване на R и Z.

За измерване на съпротивление на резистори и импеданс Z се използва схемната конфигурация показана на фигура 9.1.



Фиг. 9.1

За напрежението в изхода на преобразувателя може да се напише:

$$(9.1) U_x = \frac{U_x}{R_{et}} \cdot |Z_x|$$

При фиксирано ниво на сигнала U_x и известна стойност на съпротивлението R_{et} напрежението U_r се усилва допълнително, след което сигнала се детектира с амплитуден детектор АД и измерва със стрелкова система от магнитоелектричен тип. Функцията на преобразуване, характеризираща целия измервателен процес е:

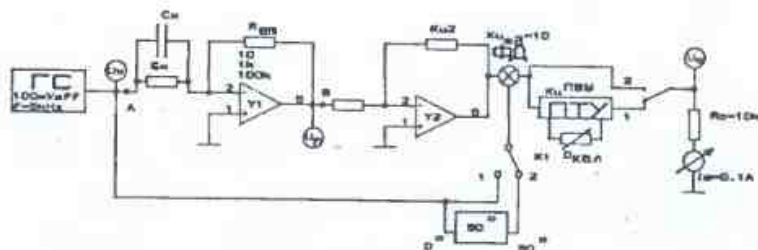
$$(9.2) \quad |Z_x| = \frac{R_{et}}{K_u \cdot 2 \cdot K_{ад}} \cdot \frac{R_o \cdot I_o}{U_x}$$

където $K_{ад} = 10$ е коефициентът на преобразуване на активния детектор; R_o - общото съпротивление във веригата на стрелковата измервателна система ($R_o = 10 \text{ k}\Omega$).

В (9.2) като се змести $I_o = I_o \text{ max} = 100 \text{ }\mu\text{A}$, $U_x = 0.100 \text{ V}$ (ефективна стойност) за комбинациите на $R_{et} = 10 \text{ }\Omega$, $1 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$ с $K_u = 1$ или 0.1 се получават измервателните обхвати за R и $|Z|$.

4.1.2. Измерване на капацитет и диелектрични загуби.

За измерване на капацитет и диелектрични загуби се използва схемна конфигурация, показана на фиг. 9.2. Тук кондензаторът е представен с паралелна еквивалентна схема.



фиг. 9.2

За напрежението U_r в изхода на преобразувателя е валиден изразът:

$$(9.3) \quad U_r = -U_x \frac{R_{et}}{Z_x} \text{ или } U_r = -U_x \cdot R_{et} (G_x + j \cdot \omega \cdot C_x),$$

където $\frac{1}{Z_x} = Y_x = G_x + j \cdot \omega \cdot C_x$ и $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 5000 \text{ Hz}$.

От (9.3) за G_x и C_x може да се напише:

$$(9.3.а) \quad G_x = \frac{\text{Re}\{U_r\}}{U_x \cdot R_{et}} \quad (9.3.б) \quad C_x = \frac{\text{Im}\{U_r\}}{\omega \cdot U_x \cdot R_{et}}$$

където $\text{Re}\{U_r\}$ - е съставката на напрежението U_r , която съвпада по фаза с U_x (реална съставка), а $\text{Im}\{U_r\}$ - съставката дефазирана на 90° спрямо U_x (имагинерна съставка). Тяното разделено измерване, а от там и реализацията на възможността за пряко отчитане на величините C_x и G_x се осъществява с помощта на фазовия детектор ФД, включен в измервателната конфигурация от фиг. 9.2. За целта фазовия детектор се управлява от напрежение, което е или във фаза, или изместено на 90° спрямо напрежението U_x . При положение 2 на ключа $K1$ (90°) и ключа $K2$, в изхода на фазовия детектор се получава постоянно напрежение $U_{osm} = \text{Im}\{U_r\} \cdot K_{фд} \cdot K_{u2}$. Тук с $K_{фд}$ е означен коефициентът на детекция на фазовия детектор ($K_{фд} = 10$). Тогава за функцията на преобразуване, валидна за целия измервателен канал, може да се напише:

$$(9.4) \quad C_x = \frac{R_o}{\omega \cdot R_{et}} \cdot \frac{I_o}{K_u \cdot 2 \cdot U_x \cdot K_{фд}}$$

В (9.4) като се змести I_o с $I_o \text{ max} = 100 \text{ }\mu\text{A}$, $U_x = 0.100 \text{ V}$ ефективна стойност, се получават 6 измервателни обхвата при измерване на капацитет. За измерване на диелектричните загуби се използва зависимостта:

$$(9.5) \quad D = \frac{G_x}{\omega \cdot C_x} = \frac{\text{Re}\{U_r\}}{\text{Im}\{U_r\}}$$

За да се получи непосредствено отчитане на D от скалата на измервателната система се използва възможността за управление на коефициента на усилване $K_{уп}$ на постояннотоковия усилвател. Процедурата е следната:

- 1.) Измерва се капацитетът на кондензатора C (по описаната процедура).
- 2.1) Натиска се бутон D , $1/\Omega$, или което ключа $K2$ е в положение 1 и вклочва в измервателния тракт постояннотоковия усилвател. Ключа $K1$ запазва предишното си състояние - положение 2 - 90° .
- 3.) Задава се обхват $D = 1$.
- 4.) Посредством регулатор D (кал.) се установява показание на стрелката 100 деления за да се калибрира обхват $D_{max} = 1$.
- 5.) Включва се бутон D в полето за обхвати, при което ключа $K1$ се превключва в положение 0° , с което се измерва напрежението.

$Re\{U_r\} < Im\{U_r\}$. От скалата с обхват $D_{max} = 1$ се отчитат диелектричните загуби.

6.) Ако $D < 0,1$, се увеличава 10 пъти усилването на постояннотоковия усилвател, с което измервания обхват се трансформира в $D_{max} = 0,1$.

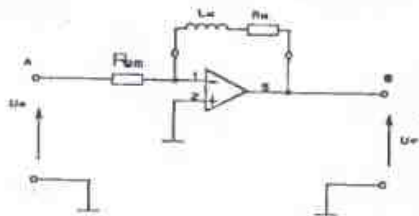
4.1.3. Измерване на индуктивност и качествен фактор.

Измерване на индуктивност.

Елементите с подчертано индуктивен характер, обикновено се представят с последователна еквивалентна схема:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x.$$

При измерване на индуктивност за основа се използва схемната конфигурация, показана на фиг. 9.3. Тогава функционалните връзки между параметрите на бобината и напреженията U_x и U_r са следните:



фиг. 9.3

$$(9.6) \quad Z_x = R_x + j\omega L_x = Re\{ \frac{U_r}{U_x} \}, \text{ от където следва:}$$

$$(9.7) \quad L_x = \frac{Re\{ \frac{U_r}{U_x} \}}{\omega} \cdot Im\{U_r\}.$$

Индуктивността L_x се измерва с помощта на фазовия детектор, включен в измервателната конфигурация (вж. фиг. 9.2.). За целта фазовия детектор се управлява от напрежение изместено на 90° спрямо напрежението U_x . При положение 2 на ключа $K1$ в изхода на фазовия детектор се получава напрежение $U_{oim} = Im\{U_r\} \cdot K_{fd} \cdot K_{u2} = I_o \cdot R_o$, от където $Im\{U_r\} = (I_o \cdot R_o) / (K_{u2} \cdot K_{fd})$. От тук въз основа на (9.7) за индуктивността L_x е в сила следната релация:

$$(9.8) \quad L_x = \frac{Re\{ \frac{U_r}{U_x} \}}{\omega} \cdot \frac{I_o \cdot R_o}{K_{u2} \cdot K_{fd}}$$

В (9.8) като се замести $I_o = I_o_{max} = 100 \mu A$, $U_x = 100 mV$ за комбинациите на $Re\{ \frac{U_r}{U_x} \}$ (10 Ω , 1 $k\Omega$, 100 $k\Omega$) с K_{u2} (1 и 0,1) и $K_{fd} = 10$ се получават 6 измервателни обхвата за измерване на индуктивност.

Измерване на качествен фактор.

От (9.6) следва:

$$(9.9) \quad R_x = \frac{Re\{ \frac{U_r}{U_x} \}}{\omega} \cdot Re\{U_r\}.$$

За измерването на качествения фактор се използва зависимостта:

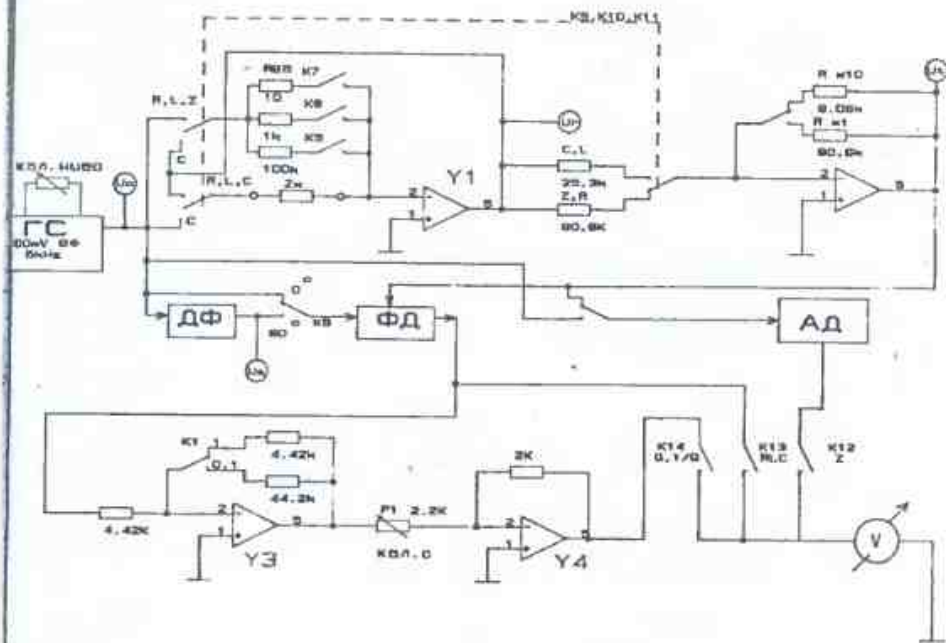
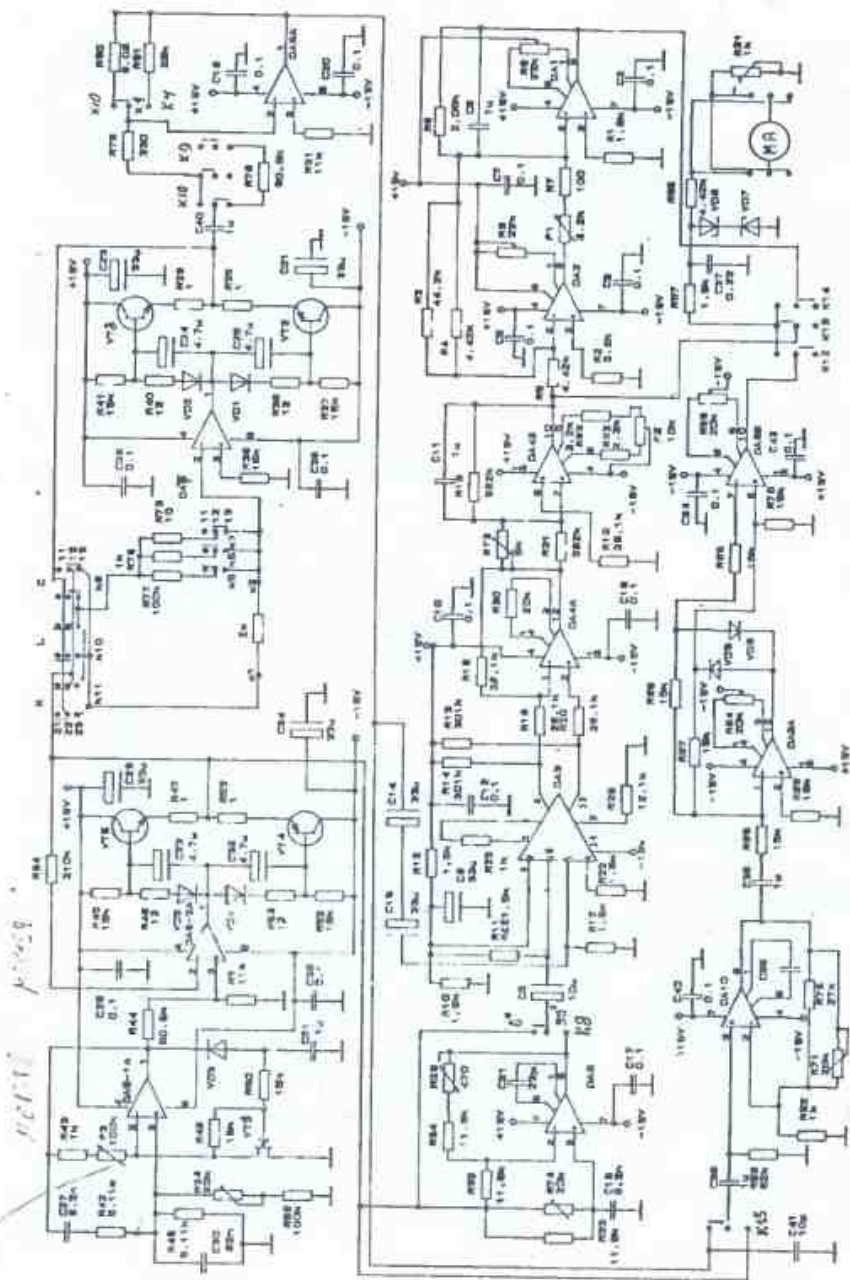
$$(9.9) \quad D_x = \frac{1}{Q_x} = \frac{R_x}{\omega \cdot L_x} = \frac{Re\{U_r\}}{Im\{U_r\}}$$

За отчитане на качествения фактор, фазовия детектор се управлява с напрежение, като не е изместено фазово спрямо напрежението U_x . За да се отчита реципрочната стойност на качествения фактор $1/Q$ непосредствено от скалата на измервателната система се използва възможността за управление коефициента - Купту на постояннотоковия усилвател. Процедурата за отчитане на тази стойност е същата, както при отчитането на диелектрични загуби при кондензатори. Стойността за Q_x се намира чрез допълнително изчисление въз основа на измерената стойност D_x според (9.9).

4.2. Принципно електрическа схема

Принципната електрическа схема на уреда "RLC-1" е показана на фиг. 9.4. Тя е съставена така, че да помага да се осъществят всички видове измервания, описани до тук. Опростена схема е дадена на фиг. 9.5. Генераторът на синусоидално напрежение е реализиран с ИС DA8-1A. Полевият транзистор VT_3 служи за стабилизация на амплитудата на синусоидалното напрежение. Последната може да се изменя плавно в тесни граници с потенциометъра $P3$ (кап. ниво). Необходимото напрежение $U_o = 100 mV$ се получава в изхода на повторителя, изпълнен с DA8-2A, VT_5 и VT_4 .

Мостовата схема се състои от DA7, транзистори VT_1 , VT_2 и прилежащите им елементи. Усилвателят DA7 е включен по схема на инвертиращ усилвател. Напрежението му в изхода зависи от стойността на включения импеданс и еталонния резистор.



Фиг. 8.4

Фиг. 8.6

Фазовият Детектор е изграден със специализираната интегрална мена 1MP1496-DA3, диференциалния усилвател DA4-А и филтъра DA4-В. Постоянното напрежение в изхода на DA4-В е пропорционално на измервания капацитет, индуктивност или съпротивление. Калибровка в нулата се осъществява посредством потенциометър P2 (нул. L, C). Целта при C-измервания входът на уреда е отворен, а при L и R-измервания се дава накъсо.

Сигналят U_{y0}^* за управление на фазовия детектор се взема непосредствено от изходното напрежение на генератора. Сигналят U_{y90}^* се получава от активен дефазатор на 90° , изпълнен със схема DA6 и рилеащите RC елементи. Необходимата нормализация за изходното напрежение на моста при различните режими на измерване се съществява от нормализиращ усилвател - DA5 (инвертиращ променливотоков усилвател). Изменението "x1" и "x10" се осъществява, чрез омутация на резисторите R81 и R80, а необходимия корекционен коефициент при измерване на R и L, C се определя, чрез конутация на резисторите R75 и R76.

Амплитудният детектор съдържа предварителен усилвател - схема DA10, с коефициент на усилване 10 и двупътен прецизен детектор, включващ схема DA9A, диоди VD8, VD9 и схема DA9B. В изхода на последната схема се получава постоянно напрежение, пропорционално на постъпващото на входа на променливо напрежение.

С операционни усилватели DA1 и DA2 е реализиран постояннотоков усилвател, чийто коефициент на усилване може да се изменя стъпално от 1 до 10 чрез превключване на резистори R3, R4 и плавно 1 път, чрез потенциометъра P1 ("КАЛ.D"). Този канал се използва за усилване на постоянното напрежение в изхода на фазовия детектор "ФД" при измерване на диелектрични загуби D или на Q. За отчитане на измерваните напрежения се използва стрелкова система от магнитоелектричен тип с ток за крайно отклонение 100 μ A и вътрешно съпротивление R1 = 3,5 k Ω . С нея и елементите R57, R58, R61 и C37 е изграден постояннотоков волтметър с обхват 1 V и входно съпротивление Rвх = 10 k Ω .

4.3. Инструкция за работа с уреда.

Измерването в различните режими се извършва, както следва:

4.3.1. Измерване на импеданс на двуполосник.

- Включва се измервания двуполосник към клемите "Zx" на уреда.
- Натиска се бутон "R" от полето за управление режимите на работа (поле "B").

- Бутоните за обхвата от същото поле се поставят в положение включващо предполагаемата стойност на импеданса.

- Натиска се бутон "Z" от полето за управление на отчитането (поле "A").

- При включен бутон "КАЛ.НИВО" с потенциометъра за калибровка се настройва нивото на тестовия сигнал - 100 mVeff.

- При изключване на бутон "КАЛ.НИВО" се отчита измерената стойност на импеданса Zx.

Забележка. При измерване на Z от полето "B" задължително се изключва бутонът D!

4.3.2. Измерване на съпротивление.

- Включва се измерваният резистор към клемите "Zx".
- Натиска се бутон "R" от поле "B".
- Поставят се бутоните за обхвата от същото поле в положение включващо предполагаемата стойност на Rx.

- Натискат се бутоните "Z" и "КАЛ.НИВО" от поле "A" и с потенциометъра за калибровка се настройва нивото на тестовия сигнал 100 mVeff.

- Натиска се бутон "R, L, C" от поле "A" и "D" от поле "B".

- Закъсяват се с къс проводящ клемите "Zx" и с потенциометъра "НУЛ.L.C" се нулира показанието на прибора.

- Премахва се късото съединение и се отчита измерената стойност на резистора Rx.

4.3.3. Измерване на капацитет и диелектрични загуби на кондензатори.

При отворен вход на клемите "Zx" се извършват следните операции:

- Натиска се бутон C от поле "B" (бутон D от поле "B" изключен).

- Поставят се бутоните за обхват на C от поле "B" в положение включващо предполагаемата стойност на Cx.

- Натискат се бутоните "Z" и "КАЛ.НИВО" от поле "A" и с потенциометъра за калибровка се настройва нивото на тестовия сигнал - 100 mV.

- Натиска се бутон "R, L, C" от поле "A" и с помощта на потенциометъра "НУЛ.LC" се нулира показанието на прибора.

- Свързва се измерваният кондензатор към клемите "Zx" на уреда и се отчита получената стойност за капацитета Cx.

За отчитане на D се извършват следните допълнителни операции:

- Натиска се бутон "1/Q" от поле "A".

- Натиска се бутон "x1" от поле "ОБХВАТ D".

- Посредством потенциометъра "КАЛ:LC" се довежда показанието на стрелката в края на скалата.

- Включва се бутон D от поле "B". Уредът е готов да измерва параметъра D в обхват 1.

- Изключва се измервания кондензатор и с потенциометъра "НУЛ.L.C" се нулира показанието на прибора.

- При повторно включване на кондензатора се отчита D.

- Обхват 0,1 се установява, чрез натискане на бутон "0,1".

4.3.4. Измерване на индуктивност и качествено число.

- Включва се измерваната бобина към клемите "Zx" на уреда.

- Натиска се бутон "L" от поле "B".

-Бутоните за обхвата от същото поле се поставят в положение включващо предполагаемата стойност на Lx.

-Натискат се бутоните "Z" и "КАЛ.НИВО" от поле "А" и с потенциометъра за калибровка се настройва нивото на тествания сигнал - 100 mV.

-Натиска се бутон "RLC" от поле "А" (бутон D изключен).

-Закъсяват се с къс проводник клемите "Zx" и с потенциометъра "НУП.L.C" се нулира показанието на прибора.

-Премахва се късото съединение и се отчита показанието.

За отчитане на качествен фактор се извършват следните допълнителни операции:

-Натиска се бутон "1/Q" от поле "А".

-Натиска се бутон "1" от поле "ОБХВАТИ".

-С потенциометъра "КАП.L.C" се довежда отчета за Lx в крайната точка на обхвата.

-Натиска се бутон "D" от поле "B".

-Дават се на късо клемите "Zx" и с потенциометъра "НУП.L.C" се нулира показанието на прибора.

-При премахване на късото съединение се отчита измерената стойност за Q, която е реципрочната стойност на показанието за D.

5. Контролни въпроси.

1.) Обяснете принципа на Z - U преобразуване с помощта на автокомпенсационния мост. Изведете изразите, които се използват при измерване на параметрите на кондензаторите.

2.) Изследвайте израза за преобразуване на капацитет в напрежение по отношение на влиянието на грешките (или нестабилността) на факторите участващи в преобразуването.

3.) Кои източници-грешки при реализираната схема на RLC-измервателя внасят грешка от мултипликативен, и кои от адитивен характер.

4.) Би ли се подобрила точността на измерването с RLC-измервателя, ако отчитането на детектираното напрежение, вместо със стрелкова система се отчита цифрово? Какво решение за цифрово отчитане бихте използвали?

5.) Обяснете защо се увеличава неточността при измерване на малки диелектрични загуби в изследвания RLC-измервател?

X. КОМПЮТЪРЕН АНАЛИЗАТОР НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ЕЛЕМЕНТИ

1. Цел на лабораторното упражнение

Целта на упражнението е да се запознаят студентите с компютризираните средства за изследване на статични характеристики и параметри на полупроводникови елементи и интегрални схеми, както и да усвоят работата с тях.

2. Техническа окомплектовка

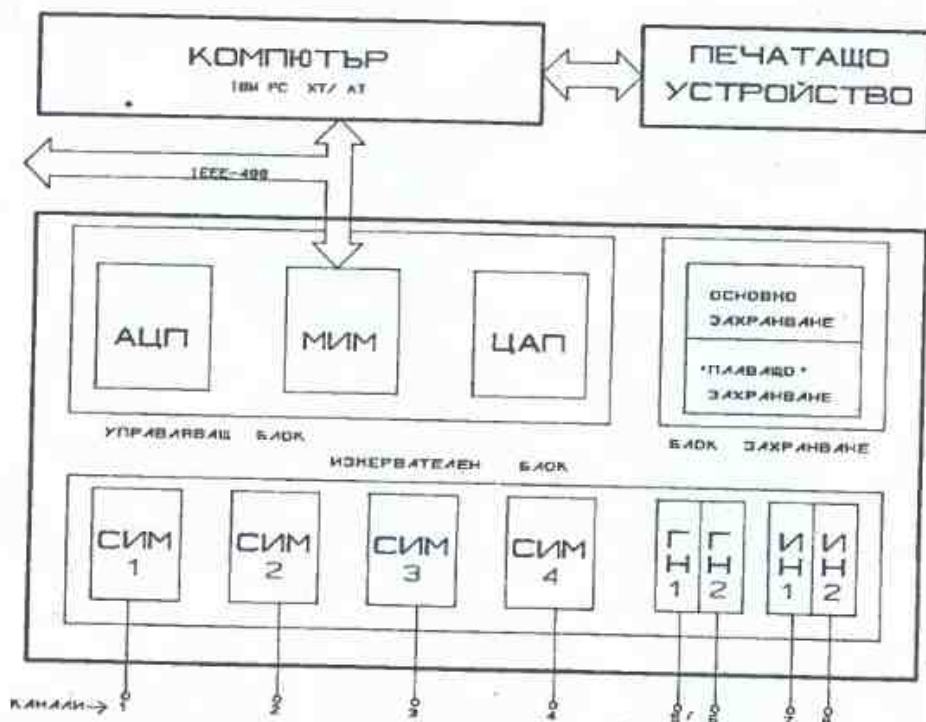
За провеждане на лабораторните занятия е необходима следната техническа окомплектовка:

- * Анализатор на полупроводникови елементи АСИК АПЕ-01 (или версия D2)
- * Системен контролер - персонален компютър "Правец 16" - оперативна памет 640 KB, твърд диск 10 MB, флопи-дискково устройство 360 KB; интерфейси: CENTRONICS, IEEE-488 (ИИС-2); аритметичен процесор 8087; системен и приложен софтуер ИСАПЕ - 2бр. дискети 5.25";
- * печатащо устройство M88
- * комутиращо и контактуващо приспособление АСИК ТП-03;
- * калибровъчни елементи и елементи за тестване: резистори, диоди, биполарни и полеви транзистори, оптрони, рич-релета, операционни усилватели, цифрови интегрални схеми.

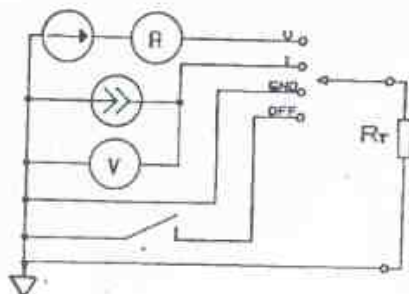
2.1. Техническо описание на компютърния анализатор АСИК АПЕ-02

2.1.1. Общо описание на уреда.

Архитектурната организация на системата е показана на фиг. 10.1. В измервателната част на уреда са включени 4 броя стимулиращо-измервателни модула СИМ1, СИМ2, СИМ3, СИМ4, два генератора на напрежение ГН1, ГН2 и два измервателя на напрежение ИН1, ИН2. 16-канален аналого-цифров преобразувател обслужва измерването, а 10-канален цифрово-аналогов преобразувател - стимулирането. Микропроцесорен интерфейсен модул осъществява управлението на системата, като интерфейсната част, посредством инструменталния интерфейс ИИС-2, осъществява обмена на информация между системния контролер и инструменталната част на системата.



ФИГ. 10.1



ФИГ. 10.2

РЕЖИМ U - генератор на напрежение / измервател на ток
 РЕЖИМ I - генератор на ток / измервател на напрежение
 РЕЖИМ GND - общ маса
 РЕЖИМ OFF - изключено

2.1.2. Техническа характеристика на модулите за стимулиране и измерване

2.1.2.1. Стимулиращо-измервателни модули СИМ1, СИМ2, СИМ3, СИМ4: генерират постоянно напрежение и измерват съответния ток през тествания обект (товар) или обратно - генерират постоянен ток и измерват полученото напрежение върху товара. Източниците генерират двуполярен ток или напрежение. СИМ имат следните метрологически характеристики:

Табл.1. Режим генериране или измерване на ток:

Обхвати*	99.9mA	9.99mA	999µA	99.9µA	9.99µA	999nA	99.9nA	9.99nA	999pA
Разреш.	100µA	10µA	1µA	100nA	10nA	1nA	100pA	10pA	1pA
Грешка**	0.3 + 0.2						0.5+0.2	1 + 0.2	

- * Автоматично ограничаване на напрежението:
 20V за $I > 50mA$; 40V за $50mA > I > 20mA$; 100V за $I < 20mA$.
- ** Всички грешки тук и по-долу са дадени както следва:
 Грешка = A% от измерена стойност + C% от цялата скала

Табл.2. Режим генериране или измерване на напрежение:

Обхвати*	99.99 V	39.99 V	9.999 V	3.999 V
Разреш.	50 mV	20 mV	5 mV	2 mV
Грешка	0.1 + 0.1			

- * Автоматично ограничаване на тока:
 100mA за $U < 10V$; 50mA за $10V < U < 40V$; 20mA за $40V < U < 100V$.

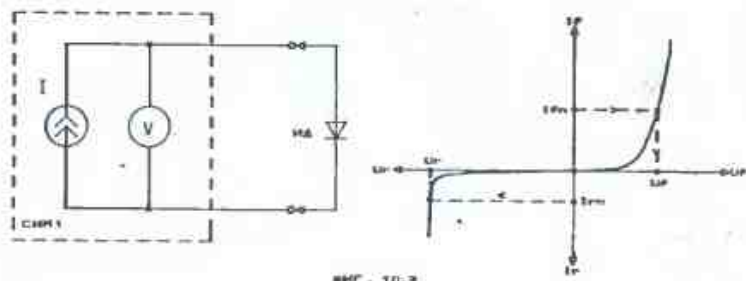
2.1.2.2. Генератори на напрежение ГН1 и ГН2:
 $\pm 20 V \pm (0.1\% + 0.1\%)$

2.1.3. Режим на работа и техника на измерване със СИМ.

Стимулиращо-измервателните модули могат да работят по избор във всеки един от четирите режима на работа: (фиг. 10.2.)

В режим "I" се програмира желана стойност за тока I_0 и се задава ограничение за напрежение $U_{огр}$ върху товара. Ако по някаква причина $I_0 \cdot R_t > U_{огр}$, изходното напрежение се ограничава до $U_{огр}$, а действително протичащия ток през товара е $I = U_{огр} / R_t < I_0$. В режим "U" се програмира желана стойност за напрежението U_0 и се задава ограничение за тока $I_{огр}$. Ако $U_0 / R_t > I_{огр}$, то върху товара се установява напрежение $U = I_{огр} \cdot R_t < U_0$.

В зависимост от програмата модули СИМ могат да изпълняват или едноточково измерване - функция CONST (снема се една точка от съответната статична характеристика), или развивка - функция VAR. При функция CONST се задава една стойност на тока или напрежението и се измерва алтернативната величина. Този режим се използва за експресна проверка на класификационни параметри (производствен контрол, лабораторни проверки и пр.). На фиг. 10.3. е илюстриран случай, при който може да се проверят параметрите на диод: U_f (падение на напрежението в права посока) и U_r (U_{br}) (пробивно напрежение). За целта един от модулите СИМ се свързва към диода. В режим генератор на ток за $I = +I_{fn}$ се отчита параметъра U_f , а за $I = -I_{fn}$ - параметъра U_r (U_{br}).



Фиг. 10.3

Функцията развивка на СИМ се използва за снемане на статични характеристики. Една статична характеристика се получава от един стимулиращо-измервателен модул. За снемане на семейство статични характеристики се използва още един СИМ, задаващ третата електрическа величина. В случая развивката на втория СИМ е зависима и се нарича подчинена развивка (VAR2), а тази на първия модул е главна (VAR1). Така например при снемане на изходни статични характеристики на биполярен транзистор $I_c = f(U_{ce})$, I_b модулът СИМ, който ще работи в изходната верига на транзистора изпълнява главна развивка, а този на входа, задаващ базовия ток - подчинена. Случая е илюстриран на фиг. 10.4. СИМ1 работи в режим генератор на напрежение/измервател на ток. Програмират се следните величини на тази развивка, която се явява главна (VAR1):

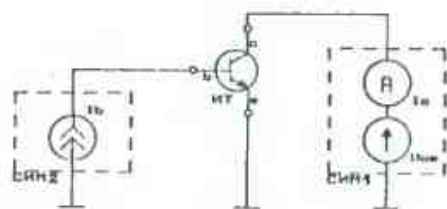
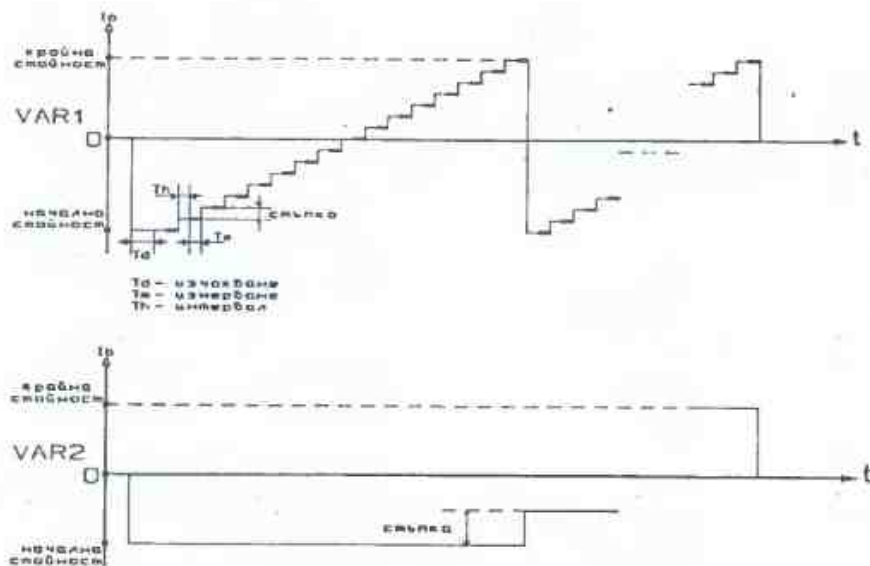
- начална стойност на напрежение със своя знак;
- крайна стойност на напрежение със своя знак;
- брой стъпки за напрежението (ако се зададе напрежение, съответстващо на една стъпка, системата автоматично определя броя на стъпките и обратно);
- първоначално време на изчакване в милисекунди;
- интервал (пауза) между измерванията в милисекунди;
- точност на измерване (време за измерване);
- линейна или логаритмична развивка;

Точността при измерване с модул СИМ има три програмируеми степени. Те са определени от броя равноточни измервания, от които се получава усреднена стойност. Ето защо избраната точност влияе и върху времето за измерване:

Точност	Брой равноточни измервания	Време за измерване
Нормална	1	100 μ s
Повишена	16	1.6 ms
Висока	256	25.6 ms

3. Задачи за изпълнение

3.1. Запознайте се с техническото описание на системата АСИК АПЕ-02 и в съответствие с инструкцията за работа с нея проследете основното меню, избора на опции и протокола, чрез която се формира заданието за измерване.



ФИГ. 10.4

- 3.2. Проведете диагностичните процедури на системата АСИК АРЕ-02
- 3.3. Снемете волт-амперна характеристика на образцов резистор R_{et} (приет като еталон) и оценете адитивната и мултипликативна грешка на комплекса стимул-измервател за произволно избран СИМ.
- 3.4. Съставете задание за измерване (протокол) на параметрите U_f и U_r (U_{br}) на диод (примерно $I_{fn} = 10mA$ и $I_{rn} = 1mA$). Реализиранте тестване на 2 - 5 диода и запишете получените резултати.
- 3.5. Съставете задание за измерване на напрежението на стабилизатора U_z на ценови диоди. Чрез два теста за различни точки на стабилизационната характеристика ($I_z = 5mA$, $I_z = 10mA$) по изчислителен път намерете $R_z = \Delta U_z / \Delta I_z$.
- 3.6. Съставете задание за измерване на волт-амперна характеристика на диод в право посока ($I_{max} = 10mA$), проведете измерването и документиранте резултатите в графичен и табличен вид с помощта на печатащо устройство:
 - a/ за линеен мащаб по оста на тока;
 - b/ за логаритмичен мащаб по оста на тока (3 декади);
 Сравнете двете графики.
- 3.7. Съставете задание за измерване на произволно избран параметър на биполярен транзистор. Проведете тестване на 2 - 5 броя транзистори и сравнете получените резултати.
- 3.8. Съставете задание за измерване на статични колекторни характеристики на биполярен транзистор $I_c = f(U_{ce})$, I_b и документиранте резултатите от тестването в графичен вид:
 - a/ за стойност на базовия ток $1 \mu A$;
 - b/ за стойност на базовия ток $20 \mu A$;
- 3.9. Съставете задание за измерване на входни характеристики на биполярен транзистор (за $U_{ce} = 0V$, $U_{ce} = 6V$), проведете измерване и документиранте резултатите в графичен вид.
- 3.10. Съставете задание за измерване на проходни характеристики на полеви транзистор $I_d = f(U_{gs})$, $U_{ds} = 6V$, проведете измерването и документиранте резултатите в табличен и графичен вид. Определете параметрите U_p и I_{dss} .
- 3.11. Съставете задание за измерване на входна характеристика на полеви транзистор $I_{gs} = f(U_{gs})$, $U_{ds} = 6V$.

- 3.12. Изследвайте характеристиките на биполярен транзистор като електронен ключ:
- а/ $I_c = f(U_{ce})$ за $U_{ce} =$ от $-0.5V$ до $+0.5V$ и $I_b = 10\mu A, 0.1mA, 1mA$.
Определете параметрите $R_c = U_{ce} / I_c$ и U_{ce} (за $I_c = 0$)
 - б/ $I_c = f(U_{ce})$ за $U_{ce} =$ от $-0.5V$ до $+10V$ и $U_{be} = 0V$.
- 3.13. Съставете задание за измерване на изходното напрежение на произволно избран генератор на напрежение ГН с помощта на произволно избран измервател на напрежение ИН. Анализирайте резултатите.
- 3.14. Да се изследват характеристиките на рид-реле и се определят:
- а/ ток и напрежение на включване;
 - б/ ток и напрежение на изключване;
 - в/ съпротивление на бобината на релето.
- 3.15. Да се изследва предавателната характеристика на TTL логически елемент:
- а/ на инвертор (1/6 SN 7404);
 - б/ на NAND (1/4 SN 7400);

4. Контролни въпроси.

- 4.1. Кои са основните режими на работа на СИМ?
- 4.2. За какво се използва функцията "развивка" на СИМ?
- 4.3. Съставете структурна измервателна схема и задайте режимите на работа на СИМ за измерване на JFET транзистор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоянов, И.И. Измервания в електрониката и изчислителната техника. С. Техника 1987.
2. Абубазеров, К.Г. и др. Измерение параметров радиотехнических цепей. М. 1981.
3. Гарет П. Аналоговые устройства для микропроцессоров и мини ЭЕМ. МИР 1981.
4. Гнатек, Ю.Р. Справочник по цифро-аналоговым и аналого-цифровым преобразователям. Е.П. 1976.
5. Кузнецова, В.А. Измерения в электронике - Справочник. М. Энергоатомиздат, 1987.
6. Кузьмичев Д.А. Автоматизация экспериментальных исследований.
7. Новицкий, П.В., И.А. Зограф. Оценка погрешностей результатов измерений. "Энергоатомиздат", Ленинград, 1985.
8. Рого, К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений. "Техника", Киев, 1987.
9. Зидукас П.Ю. Измерение параметров цифровых микросхем. М. Радио и связь, 1982.
10. Спиралски П. И. Измерване на интегрални схеми. С. Техника, 1981.

РЪКОВОДСТВО ЗА ЛАБОРАТОРНИ УПРАЖНЕНИЯ ПО ИЗМЕРВАНИЯ В
ЕЛЕКТРОНИКАТА

проф. к.т.н. Иван Ил. Стоянов, гл. ас. Димитър Г. Тодоров,
ст. ас. Огнян Н. Маринов, ст. ас. к.т.н. Марин Б. Маринов,
ас. Ангел В. Марков, и.с. Николай П. Братанов