

პეტრე გელხვიძე
ნინო გელხვიძე

ელექტრომაგნიტური ველების და ტაღლების

ლაბორატორიული პრაქტიკუმი

ქუთაისი-2013

პეტრე გელხვიძე, ნინო გელხვიძე— ელექტრომაგნიტური ველების და ტალღების ლაბორატორიული პრაქტიკუმი

წინამდებარე ნაშრომის, - (ელექტრომაგნიტური ველების და ტალღების ლაბორატორიული პრაქტიკუმი) პირველ თავში, გამოყენებულია ყოფილი სსრკ უმაღლესი და საშუალო სპეციალური განათლების სახელმწიფო კომიტეტის, საკვლევო გაერთიანების დნეპროპეტროვსკის ფილიალის საკონსტრუქტორო ბიუროს მიერ შექმნილი სასწავლო და საკვლევო ლაბორატორიული კომპლექტი, ხოლო მეორე თავში გამოყენებულია ლაბორატორიული კომპლექტი, რომელის საშუალებითაც შეიძლება ელექტრომაგნიტური ტალღების თვისებების შესწავლა, შედგენილია ქარხანა “Электродело“-ს მთავარი კონსტრუქტორის ი.ლ.ტურინის მიერ და განკუთვნილია საინჟინრო ტექნიკური ფაკულტეტის სტუდენტებისათვის.

ავტორი სიამოვნებით მიიღებს ყველა იმ შენიშვნებს და რჩევებს რომელებიც ნაშრომს უფრო სრულყოფილსა და საინტერესოს გახდის. /კითხვები, შენიშვნები და წინადადებები შეგიძლიათ გამოგზავნოთ მისამართზე:

ელ. ფოსტა: **PetreGelkhviidze@rambler.ru/**

გვ: 72; ნახ. 66; ცხ. 18;

რედაქტორი:

ასოც. პროფ. დ.თედორაძე

თავი I

ელექტროსტატიკური ველის შესწავლა

საჭირო ხელსაწყოები: ტრენაჟორი, მინის აბაზანა წყლით, მილიმეტრიანი ბადე, ბრტყელი ელექტროდები, ზონდი, შემაერთებელი მავთულები.

სამუშაოს მიზანი: შესწავლილი იქნას ერთგვაროვანი ელექტროსტატიკური ველი, ექვიპოტენციალური ზედაპირების საშუალებით განისაზღვროს ველის დაძაბულობის სიდიდე.

სივრცეს, რომლის საშუალებითაც ხორციელდება უძრავი მუხტების ურთიერთქმედება, ელექტროსტატიკური ველი ეწოდება. ელექტროსტატიკური ველი ხასიათდება დაძაბულობის ვექტორით. ველის მოცემულ წერტილში დაძაბულობა იზომება იმ ძალით, რომლითაც ველი მოქმედებს ამ წერტილში მოთავსებული მუხტის დადებით ერთეულზე. თუ q მუხტზე ველი მოქმედებს F ძალით, მაშინ განმარტების თანახმად, დაძაბულობა

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

წირს, რომლის ყოველ წერტილში გავლებული მხების მიმართულება გვიჩვენებს ველის დაძაბულობის ვექტორის მიმართულებას, დაძაბულობის წირი ან ძალწირი ეწოდება.

ვინაიდან დაძაბულობის უშუალოდ გაზომვა დიდ სიძნელეს წარმოადგენს, ამიტომ შემოტანილია ველის სკალარული მახასიათებელი – პოტენციალი. პოტენციალი იზომება იმ მუშაობით, რომელსაც ელექტრული ძალები ასრულებენ ერთეულოვანი დადებითი მუხტის გადასატანად ველის მოცემული წერტილიდან უსასრულობაში. ცხადია, მუშაობა, რომელიც სრულდება q მუხტის გადაადგილებისას ველის ორ წერტილს შორის, ტოლი იქნება

$$A = q(V_1 - V_2),$$

სადაც V_1 და V_2 –ით აღნიშნულია მუხტის საწყისი და საბოლოო მდებარეობის შესაბამისი წერტილების პოტენციალები. ელექტროსტატიკური ველის სხვადასხვა წერტილში პოტენციალს სხვადასხვა მნიშვნელობა აქვს, მაგრამ ველში ყოველთვის მოინახება ტოლი პოტენციალების მქონე წერტილები. ტოლი პოტენციალების მქონე წერტილთა გეომეტრიულ ადგილს ექვიპოტენციალური ზედაპირი ეწოდება. ადვილად

მტკიცდება, რომ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის ვექტორი ველის ყოველ წერტილში მიმართულია ამ წერტილში გამავალი ექვიპოტენციალური ზედაპირის მართობულად. აქედან გამომდინარე, თუ მოვძებნით ერთნაირი პოტენციალის მქონე წერტილებს, ე.ი. ავაგებთ ექვიპოტენციალურ ზედაპირს და გავავლებთ მის მართობ ხაზებს, მივიღებთ საძიებელ ძალწირს.

ვინაიდან კავშირი ველის დაძაბულობასა და პოტენციალთა სხვაობას შორის, უმარტივეს შემთხვევაში, ასეთია

$$E = \frac{V_1 - V_2}{d}, \quad (1)$$

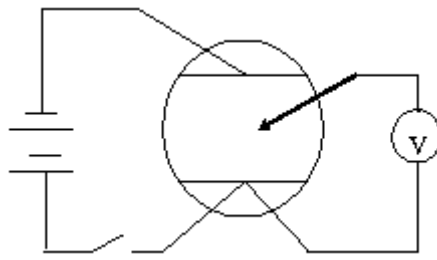
სადაც d ზედაპირებს შორის მანძილია, ნორმალის გასწვრივ, ამიტომ ელექტროსტატიკური ველის დაძაბულობის განსაზღვრა დაიყვანება პოტენციალების განსაზღვრამდე.

ცდის მსვლელობა

აღნიშნული მეთოდით ელექტროსტატიკური ველის შესწავლა შეიძლება მოხდეს ნახ. 1-ზე მოცემული სქემის გამოყენებით. (ამ შემთხვევაში ელექტროსტატიკური ველის შექმნა ხდება დროის მიხედვით უცვლელი, სტაციონალური, დენის საშუალებით). სქემაზე ვოლტმეტრის ერთი ბოლო შეერთებულია ერთ-ერთ ელექტროდთან, ხოლო მეორე – ზონდთან.

1. ჩართეთ წრედი, მოათავსეთ ზონდი წყლიან აბაზანაში და ჩაიწერეთ ვოლტმეტრის ჩვენება და წერტილის შესაბამისი კოორდინატები.
2. ზონდის გადაადგილებით მონახეთ იგივე პოტენციალების მქონე წერტილები (არანაკლებ ხუთისა), ჩაიწერეთ შესაბამისი კოორდინატები.
3. ანალოგიური ცდები გაიმეორეთ განსხვავებული პოტენციალის მქონე წერტილებით.
4. ააგეთ ექვიპოტენციალური ზედაპირები და (1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ ველის დაძაბულობა.
5. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა



ნახ.1

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	X,	X,	X,	X,	X,	X,	X,	V	
1									
2									
3									
4									
5									

დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის განსაზღვრა

საჭირო ხელსაწყოები: ტრენაჟორი, ტანგენს გალვანომეტრი, რეოსტატი, მუდმივი დენის წყარო, გადამრთველი, შემაერთებელი მავთულები.

სამუშაოს მიზანი: ცდის საფუძველზე განისაზღვროს დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის მნიშვნელობა.

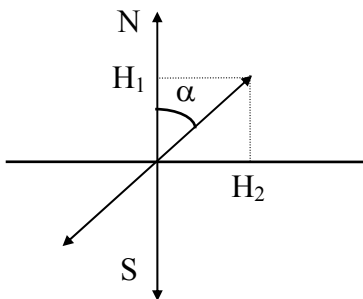
დედამიწა წარმოადგენს უზარმაზარ ბუნებრივ მაგნიტს, რომლის პოლუსებიც მოთავსებულია გეოგრაფიული პოლუსების მახლობლად.

დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის წირები ეკვატორთან ჰორიზონტალუ-

რადია განლაგებული, ხოლო პოლუსებთან ვერტიკალურად. დედამიწის სხვა წერტილებში კი პორიზონტის მიმართ ქმნის რაღაც კუთხეს. მაგნიტური ველის დაძაბულობის პროექციას პორიზონტალური სიბრტყის მიმართ, დაძაბულობის პორიზონტალური მდგენელი ქვია. მაგნიტური ისარი, რომელსაც შეუძლია ბრუნვა ვერტიკალური ღერძის მიმართ განიცდის დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის პორიზონტალური მდგენელის მოქმედებას. მეორეს მხრივ მაგნიტურ ისარზე შეიძლება ვიმოქმედოთ დენიანი გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველით. ამ შემთხვევაში წრიული დენის მაგნიტური ველით, რომელსაც ქმნის ე.წ. ტანგენს გალვანომეტრი (R რადიუსიანი n ხვიისაგან შემდგარი სისტემა). თუ გავითვალისწინებთ, რომ ორი ურთიერთმართობი მაგნიტური ველის (დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის H_1 პორიზონტალური მდგენელისა და წრიული დენის მაგნიტური ველის დაძაბულობის H_2 -ის) მოქმედებით მაგნიტური ისარი შემობრუნდება რაღაც კუთხით ისე, რომ სამართლიანია პირობა

$H_1 = \frac{H_2}{\operatorname{tg} \alpha}$ (ნახ. 1). ვინაიდან წრიული დენის მაგნიტური ველის დაძაბულობა წრის

ცენტრში $H_2 = \frac{In}{2R}$ ამიტომ მივიღებთ



$$H_1 = \frac{In}{2R \operatorname{tg} \alpha} \quad (1)$$

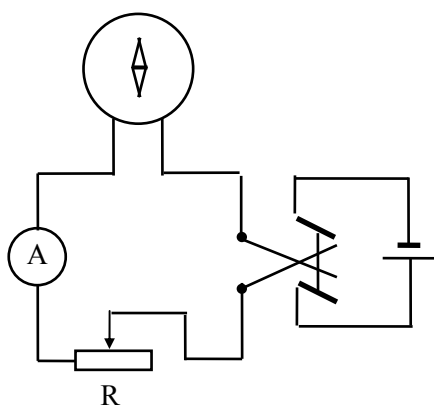
ნახ. 1

ცდის მსვლელობა:

1. აკრიბეთ ნახ. 2-ზე მოცემული სქემა.
2. ტანგენს გალვანომეტრი მოათავსეთ დედამიწის მაგნიტური ველის მერიდიანის სიბრტყეში.
3. ჩართეთ წრელი და რეოსტატის საშუალებით შეარჩიეთ დენი ძალის ისეთი მნიშვნელობა, რომ მაგნიტური ისრის შემობრუნების კუთხე 45° -ის ფარგლებში იყოს.
4. გადართეთ გადამრთველი (ე.ი. შეცვალეთ პოლარობა).

5. განსაზღვრეთ მე-3 და მე-4 პუნქტებით გაზომილი კუთხეების საშუალო მნიშვნელობა α .
6. (1) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის კორიზონტალური მდგენელის მნიშვნელობა.
7. ცდა გაიმეორეთ რამოდენიმეჯერ.
8. გამოთვალეთ შესაბამისი აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
9. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცდის სქემა:



ნახ. 2

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	I	α_1	α_2	α	n	H_1	ΔH_1	$\frac{\Delta H_1}{H_1}$	შენიშვნა
1									
2									
3									

ოსცილოგრაფის შესწავლა

- საჭირო ხელსაწყოები:**
1. ელექტრონული ოსცილოგრაფი C1-76
 2. ბგერითი გენერატორი ГЗ-III
 3. ელექტრული იმპულსის გარდამქმნელი ПИ
 4. დენის წყარო ИП
 5. ვოლტმეტრი

სამუშაოს მიზანი: ელექტრონული ოსცილოგრაფის მუშაობის პრინციპის გაცნობა და მისი გამოყენება სხვადასხვა გაზომვების ჩასატარებლად.

ელექტრონული ოსცილოგრაფის დანიშნულება და მუშაობის პრინციპი

უნივერსალური ტიპის ელექტრონული ოსცილოგრაფი C1-76-ის (ნახ.1) დანიშნულებაა ვიზუალური მეთოდით იქნას შესწავლილი ელექტრული სიგნალების ფორმა, გაზომილი იქნას მათი ამპლიტუდური მნიშვნელობა და დრო, 0-1 მგპც სიხშირულ დიაპაზონში.

ოსცილოგრაფის ძირითადი ნაწილებია: ელექტრონულ-სხივური მილაკი; ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადახრის გამაძლიერებელი; დროის მიხედვით გაშლის გენერატორი; კვების წყარო.



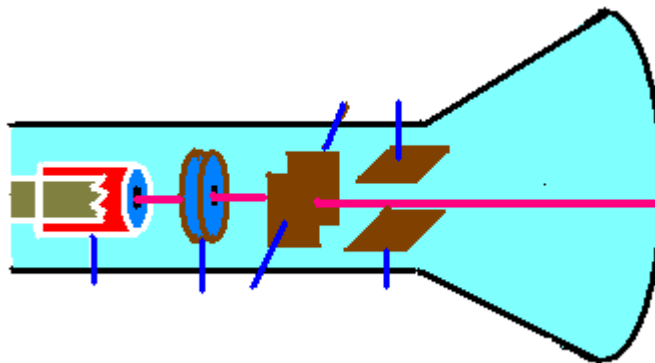
ნახ.1

უნივერსალური ტიპის ოსცილოგრაფი C1-76

ელექტრონული კონის გადახრისა და მისი ფოკუსირების მექანიზმის მიხედვით განასხვავებენ ორი სახის ელექტრონულ სხივურ მილაკებს: ელექტროსტატიკურს და მაგნიტურს. ირველ შემთხვევაში ელექტრონული კონის გადახრა და ფოკუსირება

ხდება ელექტრული ველის საშუალებით, ხოლო მეორე შემთხვევაში მაგნიტური ველით.

ელექტრონულ-სხივური მილაკი წარმოადგენს მინის ბალონს, რომლიდანაც ჰაერი მაქსიმალურად არის ამოტუმბული. მასში ჩარჩილულია სავარგარო სპირალი, კათოდი, ცილინდრული ფორმის ხვრელიანი ორი ანოდი (პირველი ელექტრონული კონის მაფოკუსირებელი, ხოლო მეორე ამაჩქარებელი) და ორი წყვილი ერთმანეთისადმი მართობულად განლაგებული ფირფიტა (ჰორიზონტალურად და ვერტიკალურად გადამხრელი). ბალონის ფსკერი წარმოადგენს მაფლუორესცირებელი ნივთიერებით დაფარულ ეკრანს, რომელსაც გააჩნია ელექტრონების დაჯახების შედეგად ნათების უნარი (ნახ.2). სავარგარო ბატარეის ჩართვისას სპირალში დენის გავლის გამო კათოდი ცხელდება და მისგან ამოიფრქვევა ელექტრონები. ეს ელექტრონები პირველი და მეორე ანოდების საშუალებით დაფოკუსირდებიან ცილინდრების ღერძის გასწვრივ და იღებენ გარკვეულ აჩქარებას. დაფოკუსირებული ელექტრონული კონა გაივლის რა ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ გადამხრელ ფირფიტებს შორის, ეცემა ეკრანს და იწვევს ნათებას წერტილის სახით.



ნახ.2

კათოდი შემოსახლვრულია ცილინდრით, რომლის ფუძეშიც დატოვებულია ვიწრო ხვრელი; ცილინდრზე მოდებულია უარყოფითი პოტენციალი, რაც იწვევს ელექტრონული კონის შევიწროებას. ცილინდრის პოტენციალის რეგულირებით შეიძლება ვცვალოთ ელექტრონული კონის დენის ძალა და შესაბამისად ეკრანზე განათებული წერტილის სიკაშკაშე (რეგულირება შეიძლება ვაწარმოოთ პოტენციომეტრით, რომელიც დამაგრებულია ოსცილოგრაფის წინა ფარზე და აქვს აღნიშვნა “*”). პირველი მაფოკუსირებელი ანოდის პოტენციალი ისე უნდა შეირჩეს, რომ ეკრანზე განათებული ლაქა იყოს წერტილოვანი, ამის განხორციელება კი შეიძლება იმ პოტენციომეტრის გამოყენებით, რომლის აღნიშვნა არის ასეთი-“⊙”.

ოსცილოგრაფით ჩატარებულ ყველა გაზომვას საფუძვლად უდევს ელექტრონული კონის გადახრა ფირფიტებზე მოდებული დაბვის საშუალებით. ვთქვათ ფირფიტების ერთ წყვილზე მაგალითად ჰორიზონტალურზე მოვდოთ რაიმე დაბვა, მაშინ ფირფიტებს შორის შექმნილი ელექტრული ველის გავლენით ელექტრონული კონა გადაიხრება და ეკრანზე მნათი წერტილი გადაადგილდება ამ ველის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ამასთან გადაადგილების სიდიდე მოდებული დაბვის პროპორციულია. თუ ფირფიტებზე იქნება მოდებული ცვლადი დაბვა, მაშინ ელექტრონული კონა შეასრულებს რხევას, რაც დიდი სიხშირის შემთხვევაში ეკრანზე მოგვცემს ხაზს.

დაბვის, დროის მიხედვით ცვლილების სარეგისტრაციოდ ვერტიკალურ ფირფიტებზე მოდებენ პერიოდულად ცვალებად ხერხისებრი ფორმის დაბვას, რომელსაც გამშლელ დაბვას უწოდებენ (ნახ.3)



ნახ.3

დაბვის ზრდისას ნულიდან რაიმე მაქსიმალურ მნიშვნელობამდე ეკრანზე მნათი წერტილი რაღაც t_1 დროის განმავლობაში გადაადგილდება მარცხნიდან მარჯვნივ თანაბარი სიჩქარით. შემდეგ რაღაც $t_2 < t_1$ დროის განმავლობაში დაბვა ეცემა ნულამდე. შესაბამისად ელექტრონული კონა და მნათი წერტილი უბრუნდება თავის საწყის მდგომარეობას. ეს პროცესი მეორდება პერიოდულად. თუ ამ დროს ჰორიზონტალურ ფირფიტებზე მოდებულია გამოსაკვლევი დაბვა, ელექტრონული კონა ამ ორი დაბვის ერთდროული მოქმედების შედეგად ეკრანზე მოგვცემს გამოსაკვლევი დაბვის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკს.

ხერხისებური ფორმის გამშლელ დაბვას ღებულობენ ეგრეთ წოდებული რელაქსაციური გენერატორით, რომლის პერიოდიც შეიძლება ვცვალოთ სახელურის ბრუნვით, რომელიც ოსცილოგრაფის წინა ფარზე აღნიშნულია ასე: “развертка”, და თუ გამშლელი დაბვის პერიოდი T_0 შერჩეული იქნება ისე, რომ ის აღმოჩნდება გამოსაკვლევი დაბვის პერიოდის ჯერადი ე.ი. თუ სამართლიანი იქნება პირობა $T_0 = nT$ სადაც n მთელი რიცხვია, მაშინ გაშლის პერიოდის განმავლობაში გამოსაკვლევი სურათი მთლიანად განმეორდება და ეკრანზე მივიღებთ უძრავ გამოსახულებას. მაგრამ ხშირ შემთხვევაში გაშლის გენერატორის სიხშირის არასტაბილურობის გამო

საჭირო ხდება გაშლის გენერატორის სინქრონიზაცია უფრო სტაბილურ სიხშირეზე (უფრო ხშირად გამოსაკვლევია ძაბვის სიხშირეზე) ეს უკანასკნელი პროცედურა შეიძლება განხორციელდეს გადამრთველით რომლის აღნიშვნაცაა “ВНУТР” $\sim \frac{1:10 \ 1:1}{\text{внеш}}$ და პოტენციომეტრით “уровень”.

თუ გაშლის გენერატორი გამორთულია (რომელიც შეიძლება განხორციელდეს გადამრთველის გადართვით მდგომარეობაში $\ominus X$). მაშინ ეკრანზე მიიღება სწორი ხაზის მონაკვეთი, რომლის სიგრძე გადამხრულ ფირფიტებზე მოდებულ ძაბვას დაახასიათებს (თუ ძაბვა მოდებულია გადამხრულ ფირფიტებზე , რომელიც ოსცილოგრაფის წინა ფარზე აღნიშნულია სიმბოლოთი $\ominus Y$ მაშინ ეკრანზე მიიღება ვერტიკალური ხაზი და შესაბამისად, როცა $\ominus X$ -მაშინ ჰორიზონტალური ხაზი).

ოსცილოგრაფის აღწერა



ყ უ რ ა დ დ ე ბ !!!


სანამ ოსცილოგრაფი ჩაირთვებოდეს, მასზედ მომუშავემ უნდა იცოდეს, რომ ოსცილოგრაფის შიგნით არის მაღალი ძაბვა, რომელიც სიცოცხლისათვის საშიშია, ამიტომ კატეგორიულად აკრძალულია ოსცილოგრაფის ჩართვა მასწავლებლის გარეშე (მასწავლებელმა უნდა შეამოწმოს, რომ ოსცილოგრაფი იყოს აუცილებლად დამიწებული “⊥” დამჭერის საშუალებით).

ოსცილოგრაფის წინა ფარზე მოთავსებულ ორგანოებს აქვს შემდეგი დანიშნულება:

გადამრთველი- “сеть“ –ოსცილოგრაფის ჩართვა, გამორთვა.

სახელურები:

-  -სკალის განათებულობის რეგულატორი;
- * -სიკაშკაშის რეგულატორი;
- ⊙ -ელექტრონული კონის მაფოკუსირებელი;
- $\left\{ \begin{array}{l} \leftrightarrow \text{грубо, плавно} \\ \uparrow \end{array} \right.$ -ელექტრონული კონის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური გადამხრელები;
-  - გამაძლიერებლის მგრძნობიარობის მარეგულირებელი;

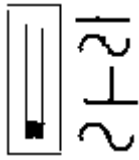
-  - გაშლის დროის მარეგულირებელი;
- “уровен” – გამშლელი ბლოკის მარეგულირებელი;

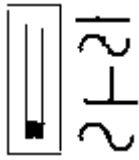
ლილაკები:

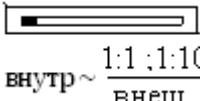
- “поиск луча” – განათებული წერტილის (ან ხაზის) მოსაძებნად;
- $\left\{ \begin{array}{l} \square 800mV \\ \square 2 kHz \end{array} \right.$ კალიბრატორის გადამრთველები;
- ϵ - კალიბრატორიდან სიგნალის გამოძეგანი;
- $x0,5 ; x1 ; x2$ – გადამხრელი ძაბვის კოეფიციენტი;
- $x1 ; x2 ; x5$ – გაშლის დროის კოეფიციენტი;

გადამრთველები:

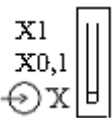
- V/cm – სიგრძის ერთეულზე მოდებული ძაბვა;
- $время/cm$ - გაშლის დროის გადამრთველი;

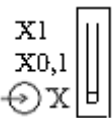


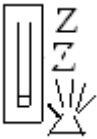
-  - გამაძლიერებელზე მოდებული გამოსაკვლევ სიგნალის გადამრთველი (\perp -მდგომარეობაში მოდებული სიგნალი დამიწებულია);

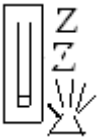


- $\frac{внутр}{внеш} \sim \frac{1:1 ; 1:10}{}$ - სინქრონიზაციის რეჟიმის გადამრთველი;



- $\text{⊕} X$  - დროის მიხედვით გაშლის, ($x1$ და 10 ჯერ გასაჭიმად); X -
დერძზე სიგნალის მოსაღებად;



-  - ოსცილოგრაფის რეჟიმების გადამრთველი;
- “ \pm ” - სინქრონიზაციის პოლარობის გადამრთველი;

$\text{⊕} Y$ - ვერტიკალურად გადამხრელი სისტემა;

$\text{⊕} X$ - გარეშე სიგნალით სინქრონიზაციისათვის ჩასართავი ადგილი.


დავალბა 1: ოსცილოგრაფის ვოლტური მგრძობიარობის განსაზღვრა

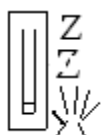
ოსცილოგრაფის, როგორც გამზომი ხელსაწყო, გამოყენებისას საჭიროა ვიცოდეთ ოსცილოგრაფის ვოლტური მგრძობიარობა X ღერძის (ჰორიზონტალური) მიმართულებით (P) და ვოლტური მგრძობიარობა Y ღერძის (ვერტიკალური) მიმართულებით (q). ვოლტური მგრძობიარობა იზომება იმ ძაბვით, რომელიც იწვევს ეკრანზე წერტილის გადახრას 1 სმ სიგრძეზე.

იმისათვის, რომ ჩატარდეს უმარტივესი გაზომვები ოსცილოგრაფის საშუალებით, საჭიროა პირველ რიგში მომზადდეს ოსცილოგრაფი ჩასართავად რისთვისაც:

1. * -სახელური უნდა იქნას დაყენებული მარცხენა უკიდურეს მდგომარეობაში;
2. ⊖- სახელური შუალედურ მდგომარეობაში;
3. –სახელურები $\left\{ \begin{array}{l} \leftrightarrow \text{грубо, плавно} \\ \updownarrow \end{array} \right.$ -შუალედურ მდგომარეობაში;
4. გადამრთველი დილაკები- $x_{0,5}; x_1; x_2$ – მდგომარეობაში x_2 ;
5. გამაძლიერებლის გადამრთველი V/cm –მდგომარეობაში “10”;

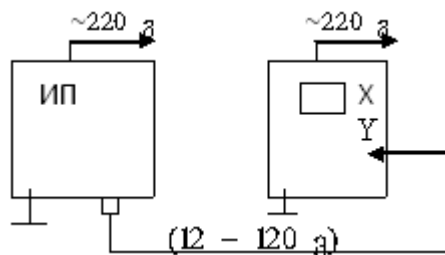
6. სინქრონიზაციის გადამრთველი $\frac{\text{ВНУТР} \sim 1:1; 1:10}{\text{ВНЕШ}}$ მდგომარეობაში “ВНУТР”;

7. გადამრთველი -  - მდგომარეობაში “X1”;

8. გადამრთველი -  -მდგომარეობაში “Z”.

შენიშვნა: დანარჩენი სახელურები შეიძლება იყოს ნებისმიერ მდგომარეობაში;


9. აკრიბეთ წრედი ნახ.4-ზე მოცემული ბლოკ სქემის მიხედვით;



ნახ.4

10. ოსცილოგრაფის გადამრთველი “сеть“ გადართეთ მდგომარეობაში “вкл” და 2-3 წთ-ის შემდეგ დააჭირეთ ხელი დილაკს - поиск луча-ხოლო სახელურებით {↔ грубо, плавно დააყენეთ ელექტრონული კონა ეკრანის ცენტრში. დაარეგულირეთ ეკრანზე სიგნალი სახელურებით: * და ⊙;

11. ჩართეთ მუდმივი დენის წყარო, ძაბვის მარეგულირებელი პოტენციომეტრი დააყენეთ მინიმუმზე. სიგნალი მოდეთ ოსცილოგრაფის ვერტიკალურად გადამხრელ ფირფიტებს $\ominus Y$, ხოლო სინქრონიზაციის გადამრთველი

გადართეთ მდგომარეობაში -“внеш” 1:1 - და გადამრთველი  - მდგომარეობაში - $\ominus X$;

12. დაიწყეთ ძაბვის მომატება დენის წყაროს პოტენციომეტრის საშუალებით, ერთდროულად აითვალეთ ძაბვა ვოლტმეტრზე და ვერტიკალური ხაზის I_y სიგრძე ოსცილოგრაფის ეკრანზე;

13. გამოთვალეთ ვერტიკალურად გადამხრელი სისტემის მგრძნობიარობა $q = \frac{U}{I_y}$;

14. ცდა გაიმეორეთ ძაბვის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის 4-5 ჯერ;

15. ანალოგიური ცდები გაიმეორეთ X დერძის მიმართ (სიგნალი უნდა მოდოთ ჩამრთველს $\ominus X$);

16. მიღებული მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში:

დაკვირვებათა ცხრილი:

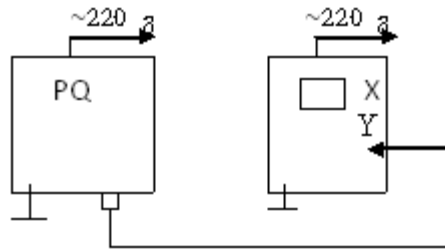
N ^o	V	I_y	I_x	q	P	შენიშვნა

/ცვლადი დენის გამოყენების შემთხვევაში ვოლტური მგრძნობიარობა გამოითვლება სხვა ფორმულით, იხილეთ II შემთხვევა/.

დავალება 2: სინუსოიდალური სიგნალის გამოკვლევა.


სინუსოიდალური სიგნალის შესწავლისათვის მოამზადეთ ოსცილოგრაფი გაზომვებისათვის, (რისთვისაც გაიმეორეთ დავალება 1-ის, 1-10 პროცედურა) შემდეგ კი:

1. ჩართეთ ბგერითი სიხშირის გენერატორი;
2. აკრიბეთ წრელი ნახ.5-ზე მოცემული ბლოკ სქემის მიხედვით;



ნახ.5

3. დროის მიხედვით გაშლის სახელურის (развертка) ბრუნვით (0,1-10 mS)

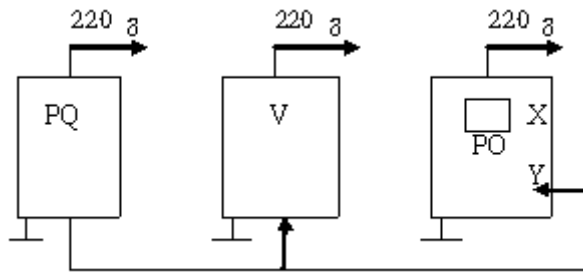
დიაპაზონში დაშემდეგ კი სახელურის  საშუალებით მიაღწიეთ, რომ ეკრანზე იყოს მდგრადი სინუსოიდა;

4. ჩახაზეთ რვეულში მიღებული სურათი;
5. აითვალეთ ოსცილოგრაფის ეკრანზე სიგნალის პერიოდი (სიგრძის ერთეულებში);
6. მიღებული რიცხვი გამოსახეთ დროის ერთეულში (შესაბამის გადამყვან კოეფიციენტზე გამრავლებით);
7. გამოთვალეთ სიხშირე $\nu = \frac{1}{T}$ და მიღებული შედეგი შეადარეთ გენერატორიდან ათვლილ სიხშირეს;
8. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	სიგნალის პერიოდი(სმ)	სიგნალის პერიოდი(წმ)	სიგნალის სიხშირე ν	გენერატორის ჩვენება

9. სინუსოიდალური სიგნალის ამპლიტუდური მნიშვნელობის დასადგენად გენერატორიდან მიღებული სიგნალი სპეციალური გამანაწილებლის საშუალებით ერთდროულად მოსდეთ ვოლტმეტრსა და ოსცილოგრაფს (ნახ.6);



ნახ.6

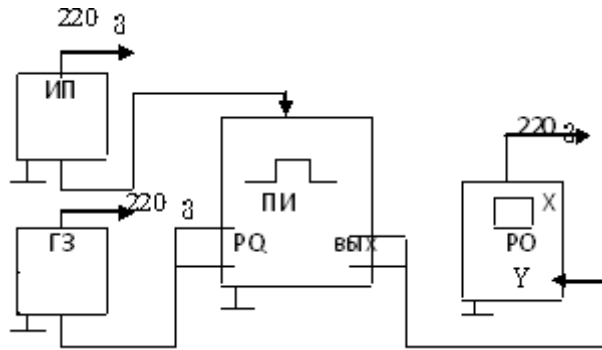
10. ცნობილია რა ოსცილოგრაფის ვოლტური მგრძობიარობა Y ღერძის მიმართ განსაზღვრეთ სინუსოიდალური სიგნალის (ძაბვის) ამპლიტუდური მნიშვნელობა;
11. გამოთვალეთ ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა $U_{\text{ეფ}} = \frac{U}{\sqrt{2}}$;
12. მიღებული მნიშვნელობა შეადარეთ ვოლტმეტრზე ათვლილ ეფექტური ძაბვის მნიშვნელობას;
13. გაზომვებით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	სიგნალის სიხშირე	სიგნალის ამპლიტუდა(სმ)	სიგნალის ამპლიტუდა U(ვ)	$U_{\text{ეფ}}$	ვოლტმეტრის ჩვენება U (ვ)
1					
2					
3					
4					
5					

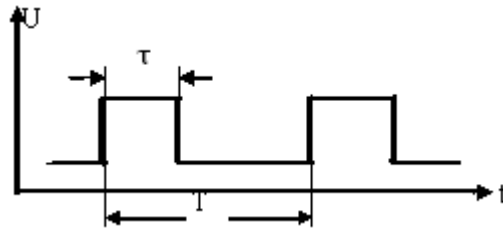
დავალება 3: იმპულსური სიგნალის შესწავლა

1. აკრიბეთ ნახ.7-ზე მოცემული ბლოკ სქემა;



ნახ.7

2. გადართეთ ბგერითი სიხშირის გენერატორი “П” მდგომარეობაში და იმპულსების გარდამქმნელზე ჩართეთ შესაბამისი დილაკი;
3. ოსცილოგრაფის რეგულირებით მიაღწიეთ ეკრანზე სტაბილური მართკუთხა იმპულსების არსებობას;
4. ჩახაზეთ რვეულში შესაბამისი სურათი;



5. გაზომეთ მართკუთხა იმპულსის ხანგრძლივობა τ და იმპულსის პერიოდი T . გამოთვალეთ იმპულსის მახასიათებელი $Q = \frac{T}{\tau}$
6. გაზომვები გაიმეორეთ სხვადასხვა სიხშირეებისათვის;
7. მიღებული მონაცემები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

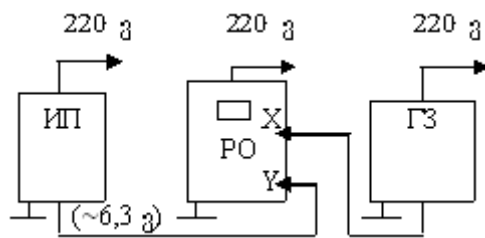
დაკვირვებათა ცხრილი:

№	τ	T	Q	შენიშვნა
1				
2				
3				
4				
5				

დავალბა 4: ლისაჟუს ფიგურების დაკვირვება

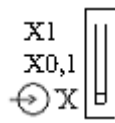
როგორც ცნობილია ერთნაირი სიხშირის ორი ურთიერთმართობი რხევის შეკრება გვაძლევს ელიფსის განტოლებას (კერძო შემთხვევაში შეიძლება მივიღოთ წრფე), ხოლო როცა შესაკრები რხევების სიხშირეები განსხვავდებიან, მაშინ ჯამურ რხევას აქვს რთული ფორმა (სხვაგვარად მას ლისაჟუს ფიგურებსაც უწოდებენ); ლისაჟუს ფიგურების დაკვირვებისათვის:

1. აკრიბეთ წრედი ნახ.8-ზე მოცემული ბლოკ სქემის მიხედვით;

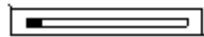


ნახ.8

2. შესაკრები სიგნალები მოდეთ ოსცილოგრაფის X და Y პოლუსებს;



3. ოსცილოგრაფის გადამრთველი -გადართეთ მდგომარეობაში- X ,



ხოლო გადამრთველი $\frac{ВНУТР}{ВНЕШ} \sim \frac{1:1; 1:10}{ВНЕШ}$ - მდგომარეობაში - $\frac{1:10}{ВНЕШ}$;

4. ბგერითი გენერატორის სიხშირის ცვლილებით მიაღწიეთ შესაკრები სიხშირეების შეფარდებას: 0,5:1; 1:1; 1:2; 1:3; 1:4; ჩაიხაზეთ შესაბამისი ნახაზი. (სიხშირეთა შეფარდება შეიძლება განისაზღვროს გენერატორის სკალის ან კიდევ ოსცილოგრაფის ეკრანზე ვერტიკალური და ჰორიზონტალური ღერძების მიმართ მაქსიმუმების რიცხვის ფარდობით);
5. გაზომვების შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	სტანდარტული სიხშირე	გენერატორის სიხშირე	სიხშირეთა შეფარდება	ფიგურის ფორმა

1				
2				
3				
4				
5				

სოლენოიდის მაგნიტური ველის შესწავლა ჰოლის გადამწოდის საშუალებით

საჭირო ხელსაწყოები: 1. კასეტა ФПЭ-04

2. დენის წყარო ИП

3. ციფრული ვოლტმეტრი

სამუშაოს მიზანი: ჰოლის ეფექტზე დაყრდნობით სოლენოიდის მაგნიტური ველის ინდუქციის გრძივი მდგენელის განსაზღვრა და ჰოლის კოეფიციენტის განსაზღვრა.

დენიანი გამტარის, ან მოძრავი მუხტის, გარემომცველ სივრცეში აღიძვრება მაგნიტური ველი, რომელიც სივრცის ყოველ წერტილში შეიძლება დავახასიათოთ მაგნიტური ველის დაძაბულობის \vec{H} ვექტორის ან მაგნიტური ველის ინდუქციის \vec{B} ვექტორის საშუალებით, რომელთა შორის კავშირი ვაკუუმში ფორმულით ასეთია:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad (1)$$

სადაც $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ჰნ/მ – ვაკუუმის მაგნიტური მუდმივაა.

მაგნიტური ველის დაძაბულობისა და ინდუქციის გამოსათვლელად გამოიყენება ბიო-სავარ-ლაპლასის კანონი, რომლის თანახმად I დენიანი გამტარის dl ელემენტის მიერ მისგან r მანძილზე დაშორებულ წერტილში შექმნილი მაგნიტური ველის დაძაბულობა:

$$d\vec{H} = \frac{I[d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3} \quad (2)$$

სასრული ზომის გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის დასახასიათებლად უნდა ვისარგებლოთ სუპერპოზიციის პრინციპით (უნდა შევკრიბოთ ვექტორულად ელემენტალური დაძაბულობის ვექტორები), ფორმულით:

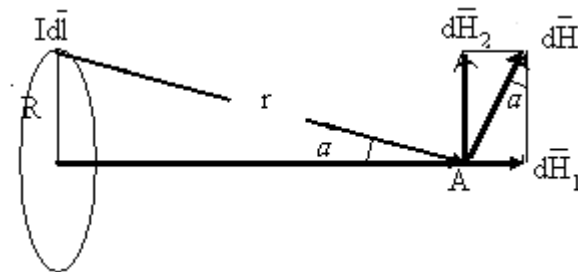
$$\vec{H} = \sum_k d\vec{H}_k = \sum_k \frac{I[d\vec{l}_k \times \vec{r}_k]}{4\pi r_k^3} \quad (3)$$

გამოვიყენოთ (3) ფორმულა სოლენოიდის ღერძზე მაგნიტური ველის დაძაბულობის გამოსათვლელად; სოლენოიდის ყოველი ხვია წრიული დენია, ამიტომ თავდაპირველად გამოვთვალოთ დაძაბულობა წრიული ხვიის ღერძზე (ნახ.1). OA ღერძის მართობული dH_2 მდგენელები შეკრებისას ერთმანეთს აკომპენსირებენ, კონტურის სიმეტრიის გამო, ამიტომ A წერტილში მაგნიტური ველის ჯამური დაძაბულობა მიმართულია წრიული დენის ღერძის გასწვრივ და მოდულით ტოლია:

$$H = \oint dH_1 \quad (4)$$

თავის მხრივ:

$$dH_1 = dH \sin \alpha = dH \frac{R}{r} = \frac{IdlR}{4\pi r^3} \quad (5)$$



ნახ.1

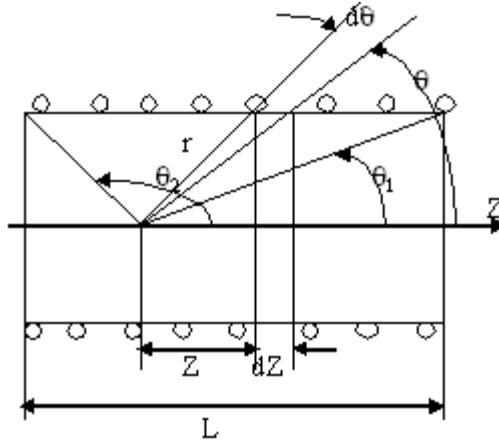
(5) ფორმულაში გათვალისწინებულია, რომ \vec{r} და $d\vec{l}$ ვექტორები ურთიერთმართობია, თუ ჩავსვამთ (5) –ს (4)-ში და გავითვალისწინებთ, რომ R და r სიდიდეები მუდმივია, მივიღებთ:

$$\int_0^{2\pi R} \frac{IRdl}{4\pi r^3} = \frac{IR^2}{2r^3} \quad (6)$$

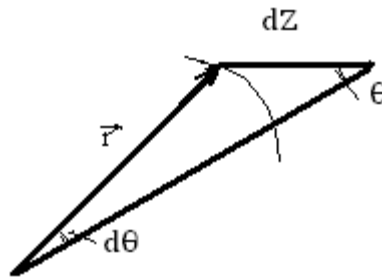
ახლა განვიხილოთ ნახ.2-ზე გამოსახული სოლენოიდის ველის დაძაბულობა, ვთქვათ სოლენოიდის სიგრძის ერთეულზე არის n ხვია, მაშინ dz უბანზე იქნება ndz ხვია, რომლებიც სოლენოიდის O წერტილში, (6) ფორმულის თანახმად შექმნიან დაძაბულობას:

$$dH_z = \frac{IR^2}{2r^3} ndz \quad (7)$$

ნახ.3-ზე უფრო დიდი მაშტაბით ნახვენებია dz ელემენტი, \vec{r} რადიუსვექტორი, θ და $d\theta$ კუთხეები. ნახ.2 დან და ნახ.3-დან ჩანს:



ნახ.2



ნახ.3

$$r = \frac{R}{\sin\theta}; \quad dz = \frac{rd\theta}{\sin\theta} \quad (8)$$

ჩავსვათ (8) –ე (7)-ში და გავაინტეგრროთ θ_1 -დან θ_2 -მდე საზღვრებში, მივიღებთ:

$$H_z = \frac{1}{2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} I n \sin\theta d\theta = \frac{In}{2} (\cos\theta_1 - \cos\theta_2) \quad (9)$$

უსასრულო სოლენოიდის შემთხვევაში $\theta_1 \rightarrow 0$; $\theta_2 \rightarrow \pi$; მაშინ:

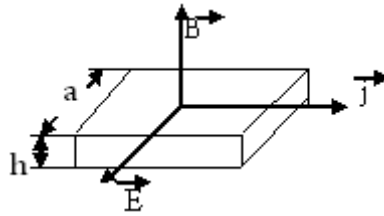
$$H_z = In \quad (10)$$

გაზომვის მეთოდი

სოლენოიდის ღერძზე მაგნიტური ველის დაძაბულობის ექსპერიმენტალური გამოკვლევისათვის ამ სამუშაოში გამოიყენება მეთოდი, რომელიც დაფუძნებულია პოლის ეფექტზე; თუ გამტარ ფირფიტაში, რომლის განივი კვეთია $a \times h$ გავატარებთ j სიმკვრივის დენს და მას მოვათავსებთ B ინდუქციის მქონე განივ მაგნიტურ ველში, მაშინ \vec{j} და \vec{B} ვექტორების მართობულად შეიქმნება \vec{E} დაძაბულობის ელექტრული

ველი (ნახ.4) ამ დროს აღძრული პოტენციალთა სხვაობა (ჰოლის ე.მ.ძ) დენის ძალისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის პროპორციულია, ფორმულით:

$$\Delta\phi_x = R_x j B a = R_x \frac{I B}{h} \quad (11)$$



ნახ.4

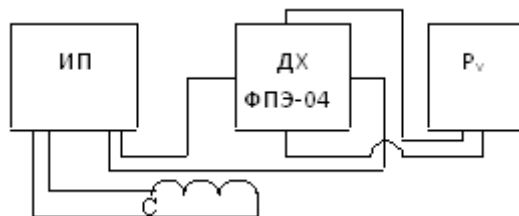
სადაც $I = j a * h$; R_x პროპორციულობის კოეფიციენტს ჰოლის მუდმივას უწოდებენ. სამუშაოში გამოიყენეს X501 ტიპის გადამწოდი მართვადი დენით $I=90$ მა.

რადგანაც სოლენოიდის ღერძზე მაგნიტური ველის ძალწირები მიმართულია ღერძის გასწვრივ, ამიტომ ჰოლის გადამწოდი უნდა მოთავსდეს, სოლენოიდში ჩადგმულ სპეციალური ღეროს წახნაგზე. სოლენოიდის ღერძის პარალელური ჰოლის გადამწოდის გეომეტრიული ზომა $h=0,2$ მმ-ს, ხოლო სოლენოიდის შიგნით გადამწოდის მდებარეობის განსაზღვრისათვის გვერდით წირზე გაკეთებულია მილიმეტრებიანი სკალა.

მუშაობის მსვლელობა:

დავალება 1: სოლენოიდის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქციის განსაზღვრა

1. აკრიბეთ წრედი ნახ.5-ზე მოცემული ბლოკ სქემის მიხედვით;



ნახ.5

C-სოლენოიდა; ДХ-ჰოლის გადამწოდი;

2. დააყენეთ ღერო ჰოლის გადამწოდით სოლენოიდის ღერძზე შუალედურ მდგომარეობაში (სკალაზე “0”);

- დენის წყარო და ციფრული ვოლტმეტრი ჩართეთ 220 ვ ძაბვის ქსელში და სოლენოიდში 0,5; 1; 1,5; 2,0 ა დენებისათვის გაზომეთ ჰოლის ე.მ.ძ., სოლენოიდის ცენტრში ($\Delta\varphi_x$); შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში;
- (10) და (1) ფორმულების საშუალებით გამოთვალეთ მაგნიტური ველის ინდუქცია დენის ძალის თითოეული მნიშვნელობისათვის;
- (11) ფორმულით, თითოეული გაზომვებისათვის, გამოთვალეთ ჰოლის მუდმივა R_x ;
- ააგეთ $B = f(I)$ და $\Delta\varphi_x = f(I)$ დამოკიდებულების გრაფიკები.

დაკვირვებათა ცხრილი:

№	სოლენოიდის დენი	ჰოლის გადამწოდის ემძ	მაგნიტური ველის ინდუქცია	ჰოლის მუდმივა
	I (ა)	$\Delta\varphi_x$ (ვ)	B (ტესლა)	R_x (ვ.მ/ტ.ა)
	0,5			
	1			
	1,5			
	2,0			

დავალბა 2: მაგნიტური ველის ინდუქციის Z კოორდინატზე დამოკიდებულების შესწავლა

(Z-კოორდინატი აითვლება სოლენოიდის ღერძზე შუა წერტილიდან)

- მასწავლებლის მითითებით დააყენეთ დენის ძალის მნიშვნელობა სოლენოიდის ხვიაში;
- გადაადგილეთ ღერო ჰოლის გადამწოდთან ერთად სოლენოიდის გასწვრივ $\Delta Z=1$ სმ ინტერვალით; გაზომეთ ჰოლის ე.მ.ძ. მნიშვნელობა;
- (11) ფორმულით გამოთვალეთ B მნიშვნელობა ჰოლის გადამწოდის ყოველი ფიქსირებული მდებარეობისათვის;
- I-ის ახალი მნიშვნელობებისათვის გაიმეორეთ მე-2 და მე-3 პუნქტის მოთხოვნები;
- ცდით მიღებული მნიშვნელობები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში და ააგეთ $B = f(Z)$ დამოკიდებულების გრაფიკი;
- გამოთვალეთ მაგნიტური ინდუქციისათვის აბსოლუტური ΔB და ფარდობითი $\Delta B/B$ ცდომილება.

I= (ა)

დაკვირვებათა ცხრილი:

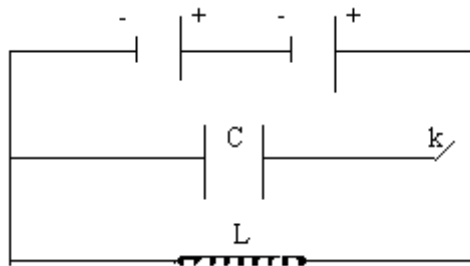
Z (სმ)	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$\Delta\phi_x$ (ვ)												
B (ტ)												

მიღევადი რხევების შესწავლა რხევით კონტურში

- საჭირო ხელსაწყოები:
1. PQ ბგერითი სიხშირის გენერატორი;
 2. PO ოსცილოგრაფი;
 3. ФПЭ-10/3 რხევითი კონტურის კასეტა;
 4. ПИ/ФПЭ-09 იმპულსების გარდამქმნელი;
 5. ИП კვების წყარო;
 6. MC წინაღობათა წყობილი.

სამუშაოს მიზანი: რხევითი კონტურის პარამეტრებისა და მახასიათებლების შესწავლა.

თუ კონდენსატორს დავმუხტავთ U ძაბვამდე ხოლო შემდეგ K გადამრთველს გადავრთავთ (ნახ.1), მაშინ კნდენსატორი დაიწყებს განმუხტვას ინდუქციურობის კოჭაზე და კონტურში აღიძვრება ელექტრომაგნიტური რხევები.



ნახ.1

განვიხილოთ როგორ ხდება ეს პროცესი, ჯერ დავუშვათ იდეალური შემთხვევა, რხევითი კონტურის წინაღობა $R=0$. კონტურის ჩართვისას მასში აღიძვრება დენი i , რომელიც შექმნის მაგნიტურ ველს, თავის მხრივ დენის მაგნიტური ველის ცვლილება კონტურში აღძრავს თვითინდუქციის ელექტრომაგნიტურ ძალებს E_s , რომელიც

შეანელებს კონდენსატორის განმუხტვის პროცესს. დენის შემცირებით აღძრული ინდუქციური დენის მიმართულება დაემთხვევა ძირითადი დენის მიმართულებას, რის გამოც კონდენსატორის გადამუხტვა გაგრძელდება მის სრულ გადამუხტვამდე (კონდენსატორის ფირფიტების მუხტი შეიცვლება საწინააღმდეგო ნიშნით). შემდგომ პროცესი განხორციელდება საწინააღმდეგო მიმართულებით, ე. ი. სისტემა დაუბრუნდება თავდაპირველ მდგომარეობას. დროის შუალედს, რომელშიც კონდენსატორის დამუხტვა განმუხტვის ერთი სრული პროცესი ხორციელდება რხევითი კონტურის საკუთარი რხევის პერიოდი ეწოდება.

საწყის მდგომარეობაში კონდენსატორის ელექტროსტატიკური ველის ენერგია

$$W_e = \frac{CU^2}{2}$$

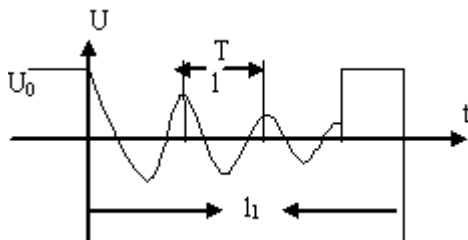
ხოლო კონდენსატორის გადამუხტვის დროს აღძვრული მაგნიტური ველის მაქსიმალური ენერგია

$$W_m = \frac{LI_0^2}{2}$$

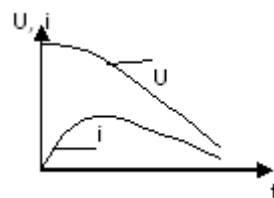
სადაც I_0 კონტურში დენის მაქსიმალური მნიშვნელობაა.

კონდენსატორის გადამუხტვისას მაგნიტური ველის ენერგია კვლავ გადადის ელექტროსტატიკურ ენერგიაში და ასე შემდეგ კონტურში აღიძვრება მიუღვევადი ელექტრომაგნიტური რხევები.

რეალურ გამტარებს ყოველთვის გააჩნია აქტიური წინაღობა, რის გამოც მასში დენის გავლისას გამოიყოფა სითბოს გარკვეული რაოდენობა, რაც თავის მხრივ რხევით კონტურში გამოიწვევს ენერგიის დანაკარგს და შესაბამისად ელექტრომაგნიტური რხევები გახდება მიღვევადი, ე.ი. ელექტრომაგნიტური რხევის ამპლიტუდა თანდათანობით შემცირდება (ნახ.2). თუ აქტიური წინაღობა მნიშვნელოვნად დიდია მაშინ რხევები საერთოდ არ განხორციელდება და საქმე გვაქვს ეგ. წ. კონდენსატორის აპერიოდულ განმუხტვასთან (ნახ.3)



ნახ.2



ნახ.3

ფორმალურად რხევით კონტურში კონდენსატორი ასრულებს დენის წყაროს როლს, რომლის ე.მ.დ. დროის ნებისმიერ მომენტში, შემონაფენებზე ძაბვის ტოლია, ამიტომ კირხოფის მეორე კანონის გათვალისწინებით დავწერთ:

$$U + E_s = iR \quad (1)$$

$$E_s = -L \frac{di}{dt} \quad (2)$$

$$i = -\frac{dq}{dt} \quad (3)$$

(დენი მიედინება დადებითი მიმართულებით კონდენსატორზე მუხტის შემცირებით), ვინაიდან $q = CU$ ამიტომ (2) და (3) ფორმულების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$i = -C \frac{dU}{dt} \quad \text{და} \quad E_s = LC \frac{d^2U}{dt^2}$$

მაშინ (1) ფორმულა ასე გადაიწერება:

$$\frac{d^2U}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dU}{dt} + \frac{U}{LC} = 0 \quad (4)$$

(4) ფორმულა წარმოადგენს მეორე რიგის დიფერენციალურ განტოლებას, რომელიც აღწერს მიღევად რხევას და რომლის ამონახსნს აქვს სახე:

$$U = U_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha) \quad (5)$$

სადაც
$$\beta = \frac{R}{2L} \quad (6)$$

მიღევის კოეფიციენტი. ω -მიღევის ციკლური სიხშირე და:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad (7a)$$

ისე რომ $\omega = \frac{2\pi}{T}$ და

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} \quad (7b)$$

თუ (1) გამოსახულებას ჩავწერთ სახით:

$$\frac{q}{C} - L \frac{di}{dt} = iR$$

და გავაწარმოებთ დროით მივიღებთ (4) განტოლების ანალოგიურ განტოლებას

$$\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di}{dt} + \frac{i}{LC} = 0$$

რაც ნიშნავს, რომ კონტურში დენი ასრულებს მიღევად რხევებს და მისთვის სამართლიანია (6), (7a) და (7b) ფორმულები.

(7a) და (7b) ფორმულებიდან ჩანს, როცა $\frac{1}{LC} > \left(\frac{R}{2L}\right)^2$ (ე.ი. სიხშირე და პერიოდი ნამდვილი რიცხვებია) ან კიდევ $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$. წინააღმდეგ შემთხვევაში $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (სიხშირე

და პერიოდი წარმოსახვითი რიცხვებია) ადგილი აქვს კონდენსატორის აპერიოდულ განმუხტვას (ნახ.3). ხოლო სიდიდეს

$$R_K = 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (8)$$

კრიტიკული წინაღობა ქვია.

რხევით პროცესებს მიღევის β კოეფიციენტის გარდა კიდევ ახასიათებენ მიღევის ლოგარითმული დეკრემენტით, რომელიც წარმოადგენს ორი მეზობელი რხევის ამპლიტუდის შეფარდების ნატურალურ ლოგარითმს, ფორმულით:

$$\lambda = \ln \frac{A_1}{A_2} = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} \quad (9)$$

ან
$$\lambda = 2,31g \frac{A_1}{A_2} \quad (9a)$$

ჩავსვათ (9) ფორმულაში რხევის ამპლიტუდის მნიშვნელობა $A(t) = U_0 e^{-\beta t}$ და $A(t+T) = U_0 e^{-\beta(t+T)}$ მივიღებთ:

$$\lambda = \beta T \quad (10)$$

(6) ფორმულის გათვალისწინებით კი:

$$\lambda = \frac{R}{2L} T \quad (10a)$$

ზოგჯერ უმჯობესია, დროის მოცემული მომენტისთვის, რხევითი პროცესი დავახასიათოთ კოორდინატთა სისტემაში რომლის აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია i დენის ძალა, ხოლო ორდინატთა ღერძზე U ძაბვა, (კოორდინატთა ასეთ სისტემას, მდგომარეობის სიბრტყეს, ან ფაზურ სიბრტყესაც უწოდებენ, ხოლო მრუდს ფაზურ მრუდს (ნახ.4)).

ჯერ ავაგოთ ფაზური მრუდი კონტურისათვის რომელშიც $R=0$, მივიღებთ: $\beta = 0$;

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} ; \quad T = 2\pi\sqrt{LC} \quad (11)$$

$$\begin{cases} U = U_0 \cos \omega t \\ i = -C \frac{dU}{dt} = U_0 \omega C \sin \omega t \end{cases} \quad (12)$$

(12) განტოლებათა სისტემა აღწერს მიუღევად რხევით პროცესს, თუ გამოვრიცხავთ t დროს მივიღებთ ფაზური მრუდის განტოლებას:

$$\frac{U^2}{U_0^2} - \frac{i^2}{U_0^2 \omega^2 C^2} = 1$$

რომელიც წარმოადგენს ელიფსის განტოლებას (ელიფსი მიიღება ორი ურთიერთმართობი რხევის შეკრებით, როცა მათ შორის ფაზათა სხვაობა პერიოდის მეოთხედის ტოლია).

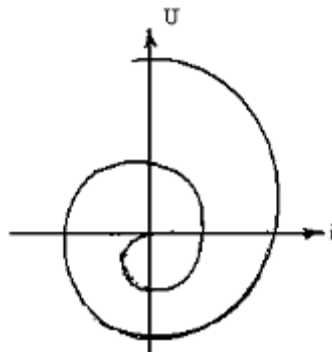
თუ კონტურის წინაღობა $R > 0$ მაშინ:

$$\begin{cases} U = U_0 e^{-\beta t} \cos \omega t \\ i = -C \frac{dU}{dt} = U_0 C e^{-\beta t} (\beta \cos \omega t + \omega \sin \omega t) \end{cases} \quad (13)$$

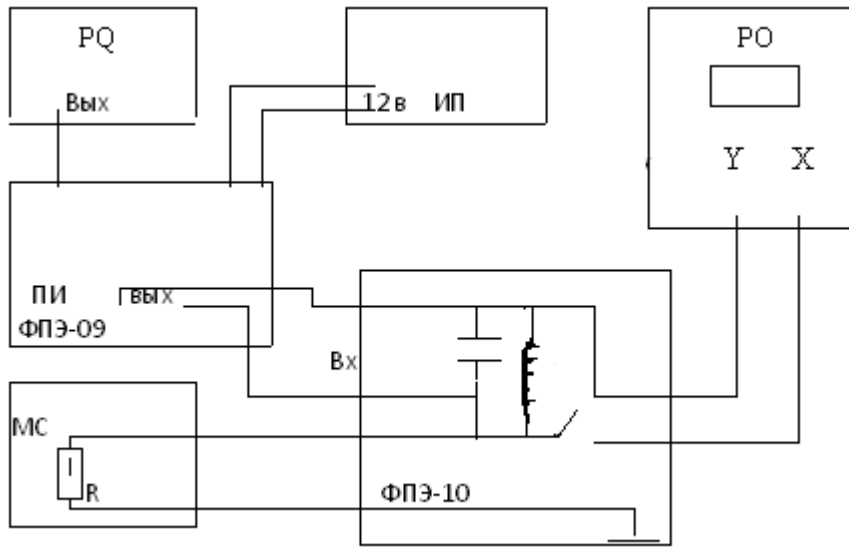
ამ შემთხვევაში ძაბვის და დენის ამპლიტუდები დროის მიხედვით მცირდება და შესაბამისად ფაზური მრუდი არ არის ჩაკეტილი (ნახ.4).

მოცემულ ამოცანაში რხევითი პროცესი ხორციელდება “ΦΠΘ-10” კასეტის საშუალებით (ნახ.5). ხოლო კონტურში მიმდინარე რხევები დაიკვირვება ოსცილოგრაფის ეკრანზე. კონდენსატორის დამუხტვისა და განმუხტვის პროცესი გრძელდება $\frac{1}{\nu}$ დროის შუალედში, სადაც ν - ბგერითი გენერატორის სიხშირეა. ოსცილოგრაფის ეკრანზე დროის ამ შუალედს შეესაბამება I_1 მონაკვეთი, ხოლო რხევის პერიოდს I (ნახ.2). თანაფარდობიდან მივიღებთ:

$$T = \frac{1}{I_1 \cdot \nu} \quad (14)$$



ნახ.4



ნახ.5

მუშაობის მსვლელობა:

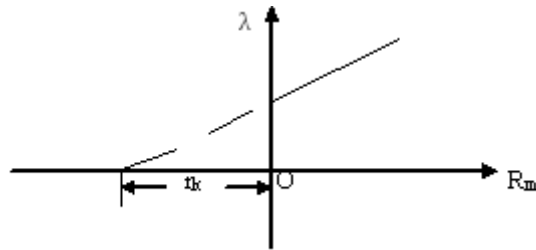
დავალბა I. რხევითი კონტურის ლოგარითმული დეკრემენტის და L, C, R პარამეტრების გაზომვა.

1. აკრიბეთ ნახ.5 მოცემული ელექტრული სქემა.
2. ჩართეთ სტენდი.
3. ჩართეთ ბგერითი სიხშირის გენერატორი (დააყენეთ ძაბვის მნიშვნელობა 2 დან 3 ვ. მდე, ხოლო სიხშირე 250 კც-ზე).
4. გამორთეთ კვების წყარო.
5. იმპულსების გარდამქმნელზე (ПИ/ФПЭ-09) ჩართეთ ღილაკი “ \square ” და ღილაკი “скважность грубо”.
6. წინაღობათა წყობილის სახელური დააყენეთ მდგომარეობაში “I” დააჭირეთ ღილაკს “X10²”.
7. ჩართეთ ოსცილოგრაფი (სახელური “V/дел» დააყენეთ მდგომარეობაში “0,2” ხოლო ტუმბლერები, “синхр” და “развер” ზედა მდგომარეობაში).
8. მიიღეთ ოსცილოგრაფის ცენტრზე მდგრადი გამოსახულება.
9. გაზომეთ მანძილები l_1 და l (14) ფორმულით გამოთვალეთ რხევის პერიოდი.
10. გაზომეთ რხევის ამპლიტუდები A_1, A_2, A_3, \dots წყვილ-წყვილად დაჯგუფებით (9) ფორმულის გამოყენებით გამოთვალეთ მიღების ლოგარითმული დეკრემენტი λ , ხოლო (10) ფორმულით მიღების კოეფიციენტი β .

11. ცდა გაიმეორეთ წინაღობათა წყობილის 10; 30; 50; 60; X10 ომი წინაღობებისათვის.
12. ააგეთ ლოგარითმული დეკრემენტის λ წინაღობათა წყობილის R_m წინაღობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი (ნახ.6). აბსცისათა ღერძზე გადაზომეთ R_m და გრაფიკის ექსტრაპოლირებით ($\lambda=0$), განსაზღვრეთ ინდუქციურობის კოჭის აქტიური წინაღობა r_k ხოლო სრული წინაღობა $R=r_k+R_m$. (10ა) ფორმულით

$$\lambda = \frac{r_k + R_m}{2L} T \quad (15)$$

სადაც r_k (ნახ.6) დან მიღებული სიდიდეა.



ნახ.6

13. (15) ფორმულიდან განსაზღვრეთ კოჭის ინდუქციურობა L და შემდეგ (11) ფორმულით ელექტროტევადობა C .
14. შეარჩიეთ წინაღობათა წყობილზე წინაღობის ისეთი R_{mk} მნიშვნელობა, რომ რხევა იყოს აპერიოდული. ისარგებლეთ (8) ფორმულით და შეამოწმეთ გამოსახულება:

$$r_k + R_{mk} = 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

15. ცდით მიღებული შედეგები და გაზომვები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

ცხრილი 1.

R_m	A_1	A_2	A_3	λ	β	L	C	r_k	R	შენიშვნა

დავალება 2. ფაზური მრუდების შესწავლა.

ოსცილოგრაფის ეკრანზე ფაზური მრუდების მისაღებად, ოსცილოგრაფის ვერტიკალურად გადამხრელ ფირფიტას მოდეთ კონდენსატორის ძაბვა, ხოლო ჰორიზონტალურად გადამხრელ ფირფიტას, წინაღობათა წყობილის ძაბვა $U_R=iR_m$.

1. ოსცილოგრაფის დილაკი “развер“ გადართეთ ქვედა მდგომარეობაში.
2. დააყენეთ ოსცილოგრაფი ეკრანის ცენტრში.
3. ცვალებით წინაღობა წინაღობათა წყობილის საშუალებით და მიიღეთ ფაზური მრუდები.
4. გაზომეთ ყოველი პერიოდის შესაბამისი ძაბვის ამპლიტუდები და გამოთვალეთ

$$\lambda = 2,3lg \frac{U_1}{U_2}$$

ანალოგიურად გამოთვალეთ ლოგარითმული დეკრემენტი დენის ძალის მიხედვით (აბსცისათა ღერძზე აღებული მონაცემებით).

$$\lambda = 2,3lg \frac{i_1}{i_2}$$

5. გაზომვები გაიმეორეთ (წინაღობათა წყობილზე) 100; 200; 300; 400; 500; 600 ომი წინაღობისათვის.
6. დახაზეთ ფაზური მრუდი კონდენსატორის აპერიოდული განმუხტვისათვის.
7. გამოთვალეთ ლოგარითმული დეკრემენტის აბსოლუტური ცდომილება ფორმულით:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\frac{\Delta U_1^2}{U_1^2} + \frac{\Delta U_2^2}{U_2^2}}$$

სადაც ΔU ძაბვის ცდომილებაა ოსცილოგრაფის ეკრანზე.

8. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ მეორე ცხრილში.

ცხრილი 2

R_m	$R=r_k+R_m$	U_1	U_2	U_3	λ	i_1	i_2	i_3	λ

იძულებითი რხევების შესწავლა

საჭირო ხელსაწყოები:

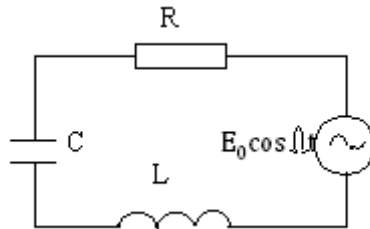
1. C-ლაბორატორიული სტენდი;
2. PQ-ბგერითი გენერატორი -102;
3. PO-ოსცილოგრაფი C-I-76;
4. - კასეტა- ΦΠΘ-11;
5. MC-წინაღობათა წყობილი;
6. M -ტევადობათა წყობილი.

განვიხილოთ რხევით კონტურში მიმდინარე პროცესები, რომელთანაც მიერთებულია დენის წყარო, რომლის ემძ

$$E = E_0 \cos \Omega t \quad (1)$$

აღნიშნოთ კონდენსატორზე ძაბვა, ელექტროტევადობა და კონტურში დენის ძალა შესაბამისად U , C და I –ით. თუ ვისარგებლებთ კვაზისტაციონარობის პირობით, წრედისათვის (ნახ.1) კირხოფის II კანონის თანახმად დავწერთ:

$$U_L + IR + U = E_0 \cos \Omega t \quad (2)$$



ნახ.1

ინდუქციურობაზე ძაბვის ვარდნა

$$U_L = -E_i = L \frac{dI}{dt} \quad (3)$$

ხოლო დენის ძალა კონტურში

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CU)}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (4)$$

(3) და (4) ფორმულის გათვალისწინებით (2) ფორმულა ასე გადაიწერება

$$LC \frac{d^2U}{dt^2} + RC \frac{dU}{dt} + U = E_0 \cos \Omega t \quad (5)$$

მიღებული განტოლება გავყოთ LC –ზე და შემოვიღოთ აღნიშვნები

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}; \quad \beta = \frac{R}{2L}$$

თუ გამოვიყენებთ წერტილით წარმოებულის აღნიშვნას და გავითვალისწინებთ შემოღებულ აღნიშვნებს დავწერთ:

$$\ddot{U} + 2\beta\dot{U} + \omega_0^2 U = E_0 \omega^2 \cos \Omega t \quad (6)$$

(6) არაერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი ტოლია შესაბამისი ერთგვაროვანი განტოლების ამონახსნისა და კერძო ამონახსნის ჯამის

$$\ddot{U} + 2\beta\dot{U} + \omega_0^2 U = 0 \quad (7)$$

(7) ერთგვაროვანი დიფერენციალური განტოლების ამონახსნი:

$$U_1 = U_{10} e^{-\beta t} \cos \omega t \quad (8)$$

(8) გამოსახულება მიღევადი რხევის განტოლების ამონახსნია. ხოლო (6) განტოლების კერძო ამონახსენი

$$U = U_0 \cos(\Omega t + \varphi) \quad (9)$$

(9) ფორმულის გათვალისწინებით მე-(6)-ში მივიღებთ:

$$U_0 = \frac{E_0 \omega^2}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}} \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{2\beta \Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2} \quad (11)$$

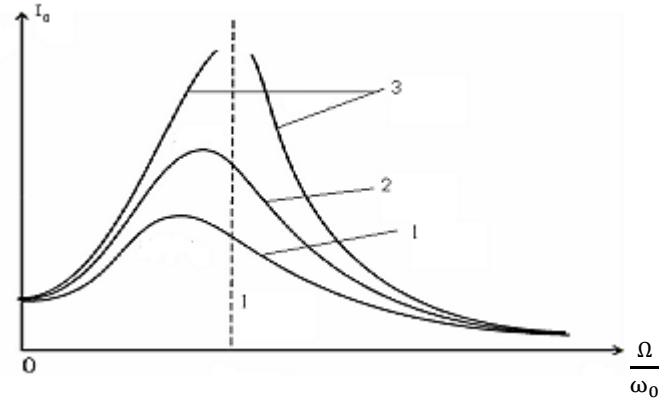
ამრიგად, ძაბვის ამპლიტუდა და ფაზა კონდენსატორზე დამოკიდებულია ემპ-ის Ω სიხშირეზე და $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ მნიშვნელობებზე, ხოლო დენის ძალა წრედში:

$$I = C \frac{dU}{dt} = -C \Omega U_0 \sin(\Omega t + \varphi) = I_0 \cos(\Omega t + \varphi_1)$$

სადაც $\varphi_1 = \frac{\pi}{2} + \varphi$ დენის ძალის ამპლიტუდაც დამოკიდებულია Ω -სა და ω_0 -ის მნიშვნელობებზე.

$$I_0 = \frac{E_0 C \omega^2 \Omega}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}} \quad (12)$$

გრაფიკულად I_0 -ის დამოკიდებულება $\frac{\Omega}{\omega_0}$ მოცემულია ნახ.2-ზე



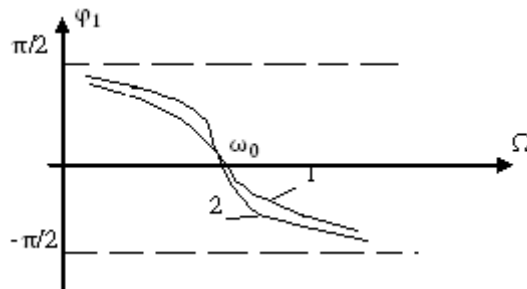
ნახ.2

გრაფიკიდან ჩანს, რომ დენის ძალის მნიშვნელობა იზრდება რაც უფრო უახლოვდება Ω კონტურის საკუთარ სიხშირეს ω_0 -ს. ამ მოვლენას რეზონანსი ეწოდება, ხოლო შესაბამის მრუდებს რეზონანსული მრუდები. მაქსიმუმის მნიშვნელობა დამოკიდებულია β -ზე და როდესაც $\beta = 0$ $I_0 \rightarrow \infty$ /მე-3 მრუდი/. β -ს გაზრდით დენის ძალა მცირდება (1 და 2 მრუდები).

φ_1 ფაზა განსაზღვრავს სხვაობას ემძის სიხშირეს და დენის ცვლილების სიხშირეს შორის

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) = -\frac{1}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{\omega_0^2 - \Omega^2}{2\beta\Omega} \quad (13)$$

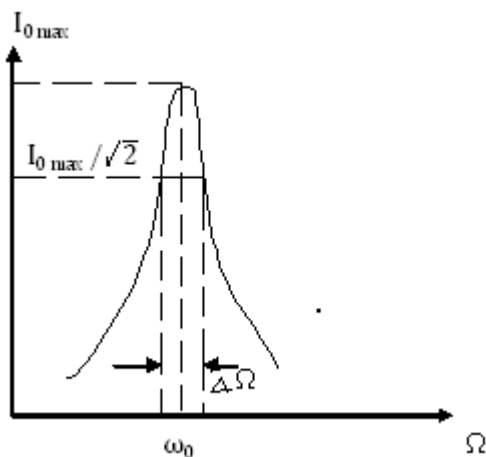
დამოკიდებულება φ_1 -სა და Ω -ს შორის გრაფიკულად ასეთია (ნახ.3):



ნახ.3

1 და 2 მრუდებს β -ს სხვადასხვა მნიშვნელობა შეესაბამება, როდესაც $\omega_0 = \Omega$ მაშინ $\operatorname{tg}\varphi_1 = 0$ და $\varphi_1 = 0$.

სიდიდეს $Q = \frac{\omega}{2\beta}$ სადაც $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ კონტურის ვარგისიანობა ეწოდება. კონტურის ვარგისიანობა დამოკიდებულია რეზონანსული მრუდის სიგანეზე. დავადგინოთ რეზონანსული მრუდის სიგანე $\Delta\Omega$ დენის $I_0 = \frac{I_{0\max}}{\sqrt{2}}$ მნიშვნელობის დროს (ნახ.4).



ნახ.4

(12) ფორმულიდან მივიღებთ: $I_{0 \max} = \frac{E_0 C \omega_0^2}{2\beta}$, ხოლო

$$I_0 = \frac{2\beta I_{0 \max}}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}} \quad (14)$$

როდესაც $I_0 = \frac{I_{0 \max}}{\sqrt{2}}$ მაშინ (14) დან მივიღებთ:

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2\beta}{\sqrt{(\omega_0^2 - \Omega^2)^2 + 4\beta^2 \Omega^2}} \quad (15)$$

(15) გამოსახულება შეიძლება დაიყვანოს შემდეგ სახეზე

$2\beta\Omega = \omega_0^2 - \Omega^2$ ან კიდევ $2\beta\Omega = (\omega_0 - \Omega)(\omega_0 + \Omega)$ სადაც $\omega_0 - \Omega = \frac{\Delta\Omega}{2}$, ხოლო

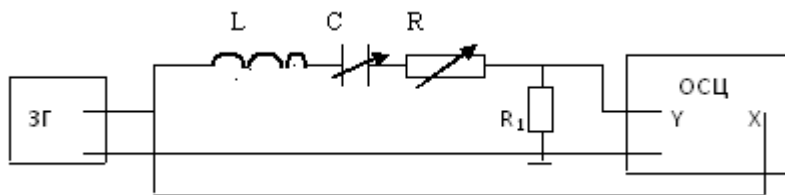
რეზონანსის მახლობლად $\omega_0 \approx \Omega$. მაშინ მივიღებთ: $\Delta\Omega = 2\beta$ საიდანაც

$$\frac{\Delta\Omega}{\omega_0} = \frac{2\beta}{\omega_0} = \frac{1}{Q} \quad (16)$$

მცირე მიღების შემთხვევაში $\beta \ll \omega_0$ და $\omega \approx \omega_0$. თუ ცნობილია კონტურის პარამეტრები მაშინ (16) ფორმულიდან დავწერთ:

$$Q \approx \frac{\omega_0}{2\beta} = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (16a)$$

ლაბორატორიული სამუშაოს მიზანს შეადგენს შესწავლილი იქნას მიმდევრობით RLC კონტურში რეზონანსის მოვლენა (ნახ.5)



ნახ.5

რხევითი კონტური შედგება L ინდუქციურობის კოჭის, C ტევადობის ტევადობათა წყობილის, R წინაღობის წინაღობათა წყობილის და R_1 წინაღობისაგან, რომელზეც ძაბვის ვარდნა კონტურში დენის ძალის პროპორციულია და რომელიც მიერთებულია ოსცილოგრაფის Y მომჭერზე. რეზონანსული მრუდების $I_0 = f(\Omega)$ ასაგებად ბგერითი გენერატორის სიხშირეს ცვლიან წინაღობათა წყობილის სხვადასხვა წინაღობის დროს.

ფაზათა სხვაობის φ_1 -ის დასადგენად იყენებენ ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებულ ლისაჟუს ფიგურებს. ვთქვათ მოცემულია ორი ერთნაირი Ω სიხშირის ურთიერთმართობი სინუსოიდალური სიგნალი, რომლებიც მოღებულია ოსცილოგრაფის ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურად გადამხრულ ფირფიტებზე, რომელთა განტოლებებია შესაბამისად, $X = X_0 \cos \Omega t$ და $Y = Y_0 \cos(\Omega t + \varphi)$, სადაც φ ფაზათა სხვაობაა, X_0 და Y_0 შესაბამისი ძაბვების ამპლიტუდები. თუ მოვახდენთ დროის გამორიცხვას, მივიღებთ:

$$\left(\frac{X}{X_0}\right)^2 + \left(\frac{Y}{Y_0}\right)^2 - \frac{2XY}{X_0 Y_0} \cos \varphi = \sin^2 \varphi \quad (17)$$

(17) განტოლება არის ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული ელიფსის განტოლება. თუ შევარჩევთ ვერტიკალურ და ჰორიზონტალურ გადახრის გაძლიერების კოეფიციენტებს ისე რომ შესრულდეს პირობა $X_0 = Y_0$ მივიღებთ:

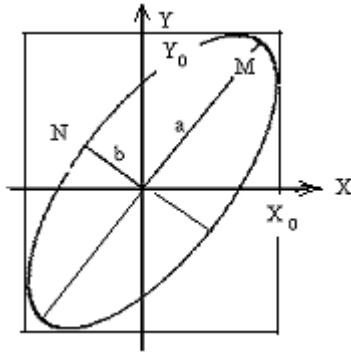
$$X^2 + Y^2 - 2XY \cos \varphi = X_0^2 \sin^2 \varphi \quad (18)$$

(18) განტოლება არის ელიფსის განტოლება რომლის ღერძები კოორდინატთა ღერძებთან ადგენს $\pi/4$ -ის ტოლ კუთხეს. როდესაც $\varphi=0$ მიიღება $Y = X$ წრფის განტოლება, ხოლო $\varphi = \pi/2$ -ის დროს წრეხაზი $X_0 = Y_0$ რადიუსით. M წერტილისათვის (ნახ.6) $X = Y$, შესაბამისად $a^2 = X^2 + Y^2 = 2X^2$ და (18) განტოლება ამ წერტილისათვის მიიღებს სახეს:

$$\begin{aligned} 2X^2 - 2X^2 \cos \varphi &= X_0^2 \sin^2 \varphi \\ 2X^2(1 - \cos \varphi) &= X_0^2 \sin^2 \varphi \\ a^2 \cdot 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} &= X_0^2 4 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \cos^2 \frac{\varphi}{2} \end{aligned}$$

საიდანაც

$$a^2 = 2X_0^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2} \quad (19)$$



ნახ.6

ანალოგიურად ელიფსის N წერტილისათვის (ნახ.6) სადაც $Y = -X$ მივიღებთ:

$$b^2 = 2X_0^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \quad (20)$$

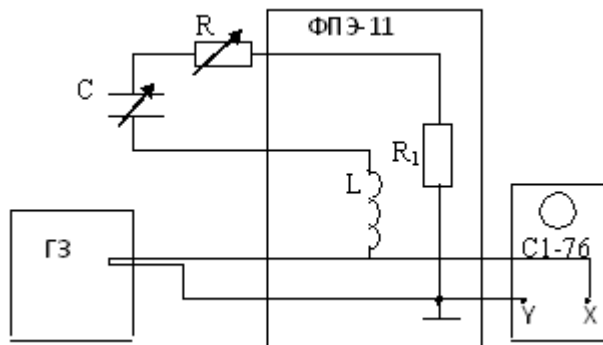
(19) და (20) გამოსახულებებიდან მივიღებთ:

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{a} \quad (21)$$

ამრიგად ფაზათა სხვაობის დასადგენად საჭიროა გაიზომოს ელიფსის ნახევარღერძები (a და b). ლისაჟუს ფიგურის მისაღებად ოსცილოგრაფის Y მომჭერზე მოდეთ სიგნალი R_1 წინააღობიდან, ხოლო X-ზე ბგერითი სიხშირის გენერატორიდან. (21) ფორმულით გამოთვლილი ფაზათა სხვაობა არის φ_1 (ფაზათა სხვაობა დენის ძალასა და გარეშე ემძ-ს შორის).

მუშაობის მსვლელობა

აკრიბეთ სქემა ნახ.7-ს მიხედვით, R და C შესაბამისად წინააღობათა და ტევადობათა წყობილება (ცალკეული კასეტების სახით), ФПЭ-11 –კასეტა განკუთვნილია იძულებითი რხევების მისაღებად.



ნახ.7

დავალება 1. რეზონანსული მრუდების აგება

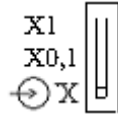
1. დააყენეთ ტევალობათა წყობილზე $C=3 \cdot 10^{-3}$ მკვ, ხოლო წინალობათა წყობილზე $R=0$.
2. გამოიყენეთ ინდუქციურობის მნიშვნელობა $L=100$ მჰნ და გამოთვალეთ რეზონანსული სიხშირე $f_{რეზ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
3. დააყენეთ ოსცილოგრაფის ტუმბლერი “усиление“ მდგომარეობაში 0,05 V/дел , ხოლო ტუმბლერი “синхр” მდგომარეობაში 0,1 ms/ . ხოლო ბგერითი გენერატორი 2კჰც (სიგნალის ამპლიტუდა 1 ვ).
4. ოსცილოგრაფზე მიიღეთ სინუსოიდალური სიგნალი (ჩაიწერეთ სიხშირე 2 კჰც ძაბვის ამპლიტუდური მნიშვნელობა და გაძლიერების კოეფიციენტი K V/дел)
5. ცვალეთ გენერატორის სიხშირე 2-დან 16 კჰც მდე (1-2 კჰც ინტერვალით)
6. გამოთვალეთ დენის ძალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა $I_0 = \frac{AK_y}{R_1}$ (A სიგნალის ამპლიტუდაა ეკრანზე, K_y გაძლიერების კოეფიციენტი, ხოლო R_1 -ის მნიშვნელობა აღნიშნულია კასეტაზე). გამოთვლები გააკეთეთ სიხშირის ყოველი მნიშვნელობისთვის
7. ცდები გაიმეორეთ $R=500$ ომ-ს და $R=3000$ ომ-ისათვის
8. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში
9. ერთიდაიმავე ნახაზზე ააგეთ I_0 -ის f-ზე დამოკიდებულების გრაფიკები
10. $R=0$ და $R=500$ გრაფიკებით განსაზღვრეთ რეზონანსული მრუდის სიგანე Δf და გამოთვალეთ კონტურის ვარგისიანობა ფორმულით $Q = \frac{f_{რეზ}}{\Delta f}$

დაკვირვებათა ცხრილი:

f (კჰც.)	
A (დან)	
K_y (V/дел)	
I_0 (მა)	

დავალება 2. რეზონანსული სიხშირის ტევადობაზე დამოკიდებულების შესწავლა.

1. დააყენეთ წინაღობა $R=0$ და ტევადობა $C=1 \cdot 10^{-3}$ მფ.



2. ოსცილოგრაფის ტუმბლერი “ $\rightarrow X$ ” გადართეთ მდგომარეობაში “X”. ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიიღეთ ელიფსი (ნახ.6). ცვალებით გენერატორის სიხშირე და მიაღწიეთ წრფეს, რომელიც ღერძის მიმართ ადგენს 45° –ს, (საჭიროების შემთხვევაში შეცვალეთ K_Y გაძლიერების კოეფიციენტი). ამ შემთხვევაში გენერატორის სიხშირე რეზონანსული $f_{რეზ}$ სიხშირის ტოლია.

3. $f_{რეზ}$ და C მნიშვნელობა შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

4. გაიმეორეთ 2 და 3 პუნქტები $f_{რეზ}$ სიხშირისათვის ტევადობის ცვლილებისას 10^{-3} მფ დან 10^{-2} მფ-მდე, (10^{-3} ინტერვალით).

5. გამოთვალეთ $Z = \frac{1}{(2\pi f_{რეზ})^2 C}$ და ააგეთ Z –ის C -ზე დამოკიდებულების გრაფიკი, (რომელიც უნდა იქნეს კოორდინატთა სათავეში გამავალი წრფე).

6. კოჭის ინდუქციურობა გამოთვალეთ როგორც $Z(C)$ დამოკიდებულების გრაფიკის დახრის კუთხის ტანგენსი $L = \frac{\Delta Z}{\Delta C}$

7. განსაზღვრეთ ინდუქციურობის აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

დაკვირვებათა ცხრილი:

$C \cdot 10^9$ ფ							
$f_{რეზ}$ (კჰც)							
$Z \cdot 10^{10}$							

რელაქსაციური რხევების შესწავლა

საჭირო ხელსაწყოები: 1. C-ლაბორატორიული სტენდი;

2. PQ-ბგერითი გენერატორი;
3. PO-ოსცილოგრაფი C-I-76;
4. - კასეტა- ΦΠΞ-12;
5. MC-წინაღობათა წყობილი;
6. ME -ტევადობათა წყობილი.
7. ИП- კვების წყარო;
8. PA – გამზომი ხელსაწყო.

სამუშაოს მიზანი: რელაქსაციური რხევების შესწავლა და გაზგანმმუხტველი მილის ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აგება.

ბუნებრივ პირობებში გაზები შედგება ელექტრულად ნეიტრალური ატომებისა და მოლეკულებისაგან, ამიტომ გაზები ელექტრულ დენს არ ატარებენ, მაგრამ თუ გაზს გავათბობთ, ან რაიმე სხვა გზით (რენტგენის სხივების ან რადიოაქტიური ატომებით დავასხივებთ) მოვახდენთ იონიზაციას (დავშლით ნეიტრალურ ატომს დადებით და უარყოფით იონებად) მაშინ გაზში გაივლის ელექტრული დენი. იონიზაციის პროცესთან ერთად გაზში შეიძლება მოხდეს რეკომბინაციის (ნეიტრალური ატომების აღდგენის) პროცესი. იონიზაციის და რეკომბინაციის პროცესების შედეგად გარკვეულ დროში გაზში დამყარდება დინამიკური წონასწორობა, იონიზირებული წყვილების რიცხვი უტოლდება რეკომბინირებული ატომების რიცხვს. თუ იონიზირებული წყვილების კონცენტრაციას (მოცულობის ერთეულში იონების რიცხვს) აღვნიშნავთ Δn_i –ით, ხოლო რეკომბინირებული მოლეკულების კონცენტრაციას Δn_r , რომელიც დამოკიდებულია მოლეკულათა კონცენტრაციის კვადრატზე

$$\Delta n_r = kn^2 \quad (1)$$

სადაც k პროპორციულობის კოეფიციენტი. დინამიკური წონასწორობისათვის დავწერთ: $\Delta n_i = \Delta n_r$ საიდანაც

$$n = \sqrt{\frac{\Delta n_i}{k}} \quad (2)$$

თუ მინის ბალონში (რომელსაც აქვს ელექტროდები) მოთავსებულ გაზზე იმოქმედებს გარეშე იონიზატორი, მაშინ ელექტროდებს შორის ძაბვის არსებობის

შემთხვევაში მოხდება ეგ.წ. გაზური განმუხტვა და გაივლის ელექტრული დენი. დენს რომელიც არსებობს მხოლოდ გარეშე იონიზატორის მოქმედების დროს არასაკუთრივი განმუხტვა ეწოდება, ცხადია გარე იონიზატორის მოხსნისას დენი შეწყება, ხოლო გარე ზემოქმედების შეწყვეტის შემდეგ თუ დენი იარსებებს მაშინ განმუხტვას თავისთავადი განმუხტვა ეწოდება.

დენის სიმკვრივე, განპირობებული დადებითი და უარყოფითი იონებით

$$j = q^+ n v^+ + q^- n v^- \quad (3)$$

სადაც დადებითი და უარყოფითი მუხტების საშუალო კვადრატული სიჩქარე დამოკიდებულია ელექტრული ველის დაძაბულობასა და შესაბამის დადებით და უარყოფითი მუხტების ძვრაობებზე ფორმულით:

$$\begin{cases} v^+ = EU^+ \\ v^- = EU^- \end{cases} \quad (4)$$

მაშინ

$$j = (q^+ U^+ + q^- U^-) n E \quad (5)$$

თუ გავიხსენებთ ომის კანონს დიფერენციალური სახით

$$j = \sigma E \quad (6)$$

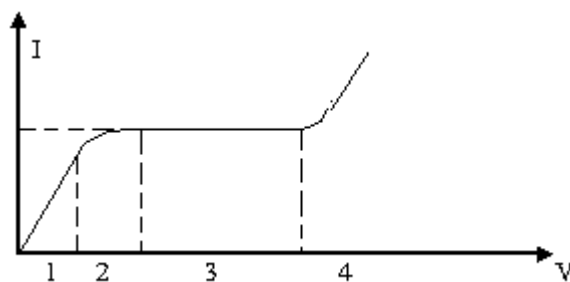
სადაც σ ელექტროგამტარობაა და უდრის:

$$\sigma = (q^+ U^+ + q^- U^-) n \quad (7)$$

იმის გათვალისწინებით, რომ იონიზაციით წარმოიქმნება ელექტრონი და ერთვალენტიანი იონი, რომლის მუხტიც ელექტრონის მუხტის ტოლია მივიღებთ:

$$\sigma = en(U^+ + U^-) \quad (8)$$

დენის ძალის დაბვაზე დამოკიდებულების, ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს აქვს ნახ.1- ზე ნაჩვენები სახე.



ნახ.1

მცირე დაბვების შემთხვევაში /1 უბანზე/ იონიზაციის ხარისხი მუდმივია და ელექტროგამტარობაც მუდმივია (დენის ძალა დაბვის პროპორციულია), დაბვის ზრდასთან ერთად /2 უბანზე/ წრფივი დამოკიდებულება ირღვევა. დაბვის გარკვეული

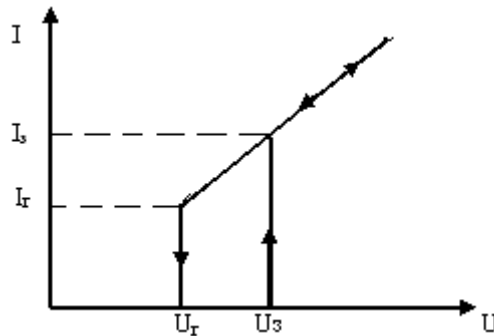
მნიშვნელობიდან /3 უბანი/ დენის ძალა უცვლელი რჩება, მიიღება ეგ.წ. ნაჯერობის დენი, ეს ფაქტი აიხსნება იმით, რომ უცვლელი იონიზაციის შემთხვევაში ყველა იონი აღწევს ელექტროდებამდე და დენის მნიშვნელობა უცვლელი რჩება, /1, 2 და 3 უბნების შესაბამისი განმუხტვა არათავისთავადი განმუხტვაა/. V მოცულობის ბალონში დროის ერთეულში თუ აღიძვრება $\Delta n_i \cdot V$ რაოდენობის იონების წყვილი მაშინ ნაჯერობის დენის მნიშვნელობა

$$I_n = \Delta n_i \cdot V \quad (9)$$

ხოლო იონიზაციის ხარისხის შემდგომი ზრდით დენის ძალაც იზრდება /4 უბანი/ ეს ფაქტი დარტყმითი იონიზაციის სახელითაა ცნობილი (გაზში წარმოქმნილი ელექტრონები თვითონ ხდებიან იონიზაციის მეორად წყაროდ, გაზში წარმოიქმნება ახალი იონების ზეავი, რის გამოც დენის ძალა სწრაფად იზრდება).

ელექტროდებზე დაბვის გადიდებით არათავისთავადი განმუხტვიდან თავისთავად განმუხტვაზე გადასვლის პროცესს ეწოდება გაზის გარღვევა, ხოლო შესაბამის დაბვას- გამრღვევი დაბვა (U_3). მისი მნიშვნელობა დამოკიდებულია გაზის გვარობაზე, წნევაზე, მასში მინარევების არსებობაზე, კათოდის ნივთიერებაზე, ელექტროდების ფორმასა და მათ შორის მანძილზე.

მოცემულ ამოცანაში განსახილველი პროცესის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ($U < U_3$ -ის პირობებში) შეიძლება იყოს ნახ.2-ზე ნაჩვენები სახის.



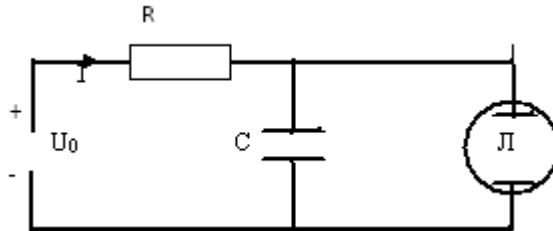
ნახ.2

თუ დაბვის მნიშვნელობას გაეზრდით $U=U_3$ -ზე დენის მნიშვნელობა საკმაოდ გაეზრდილია, I_3 -მდე (ლამპა ანთებულია), ხოლო დაბვის შემდგომი ზრდისას დენი იცვლება წრფივი კანონით, მაგრამ დაბვის შემცირებისას U_3 -ზე ლამპა ისევ ანთებულია და ეს პროცესი დაბვის შემცირებისა გრძელდება რაღაც U_r ჩამქრობ დაბვამდე, რომელზეც ლამპა ქრება და შესაბამისად დენი ნახტომისებურად ეცემა ნულამდე. რეალურად $I = f(U)$ არ არის წრფივი დამოკიდებულება (დაბვის ზრდის და შემდეგ კლებისას გრაფიკები ერთმანეთს შესაძლოა არ დაემთხვეს).

გაზური განმუხტვის მიღები (ლამპები) ფართო გამოყენებას პოულობს ეგ.წ. რელაქსაციური რხევების მისაღებად.

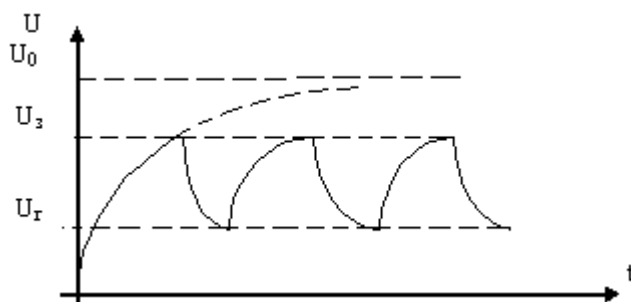
რელაქსაციური რხევა – არის პერიოდული არასინუსოიდალური რხევა, რომელსაც ახლავს ძაბვის წარმოქმნა და გაქრობა (პერიოდულად).

რელაქსაციური რხევების აღძვრა ხდება ნახ.3-ზე მოცემული სქემის საშუალებით,



ნახ.3

რომელიც შედგება: U_0 მუდმივი ძაბვის წყაროს, C ტევადობის კონდენსატორის, R წინაღობის და Π მილაკისაგან (ლამპისაგან). განმუხტვის დაწყებამდე მილაკის წინაღობა ძალზე დიდია, რის გამოც ადგილი აქვს კონდენსატორის დამუხტვას და მის შემონაფენებზე პოტენციალთა სხვაობა თანდათან გაიზრდება, შესაბამისად მილაკში ელექტროდებს შორის ძაბვაც გაიზრდება და როდესაც ის მიაღწევს U_3 -ს (ანთების) მნიშვნელობას – (მილაკი აინთება)-მისი წინაღობა ნახტომისებურად დაეცემა და წრედში დენი დაიწყებს გაელას, ვინაიდან R წინაღობა საკმაოდ დიდია დენის შენარჩუნებას ახდენს კონდენსატორზე არსებული მუხტები, რასაც მოჰყვება ძაბვის ვარდნა (შემცილება) და როდესაც ის მიაღწევს U_r მნიშვნელობას მილაკი ჩაქრება და პროცესი დაიწყება ხელახლა, აღიძვრება რელაქსაციური რხევები (ნახ.4).



ნახ.4

ახლა დავადგინოთ კონდენსატორზე ძაბვის ცვლილების კანონი. დროის ნებისმიერ მომენტში U_0 ძაბვა ტოლია წრედში თითოეულ ელემენტზე ძაბვათა ჯამისა:

$$U_0 = IR + U \quad (10)$$

სადაც U კონდენსატორზე ძაბვაა, ხოლო დენის ძალა წრედში იცვლება კანონით:

$$dq = Idt \quad (11)$$

თავის მხრივ მუხტის ცვლილება განპირობებულია ძაბვის ცვლილებით:

$$dU = \frac{dq}{C} \quad (12)$$

(11) და (12) განტოლებებიდან მივიღებთ:

$$I = C \frac{dU}{dt} \quad (13)$$

(13) განტოლების გათვალისწინებით (10) განტოლება ასე გადაიწერება

$$RC \frac{dU}{dt} = U_0 - U \quad (14)$$

ეს უკანასკნელი გამოსახულება ასე გადავწეროთ:

$$\frac{dU}{U_0 - U} = \frac{dt}{RC} \quad (15)$$

ინტეგრებით მივიღებთ:

$$\ln(U_0 - U) = -\frac{t}{RC} + \text{const} \quad (16)$$

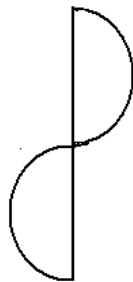
ინტეგრების მუდმივს დავადგენთ პირობიდან, როცა $t=0$, $U=0$, მაშინ

$$\text{const} = \ln U_0$$

(16) გამოსახულებიდან მივიღებთ რელაქსაციური გენერატორისათვის კონდენსატორზე ძაბვის ცვლილების კანონს:

$$U = U_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (17)$$

მოცემულ სამუშაოში რელაქსაციური რხევის პერიოდი განისაზღვრება ორი მეთოდით: პირველი მეთოდის არსი მარტივია, ოსცილოგრაფის ეკრანზე მიღებული პერიოდული არასინუსოიდალური სიგნალის პერიოდს ვზომავთ უშუალოდ ოსცილოგრაფის ეკრანზე. მეორე მეთოდი უფრო ზუსტია და მისი არსი მდგომარეობს შემდეგში,- ოსცილოგრაფის ეკრანზე ხდება ორი ურთიერთმართობი რხევის შეკრება (ეკრანზე დაიკვირვება ლისაჟუს ფიგურები (ნახ.5), (ამ შემთხვევაში სიხშირეთა შეფარდებაა 1:1) როდესაც შესაკრები რხევების სიხშირეთა შეფარდება მთელი რიცხვია მაშინ ეკრანზე მიიღლება მდგრადი ფიგურა). გვეცოდინება რა სტანდარტული სიხშირე ლისაჟუს ფიგურიდან შეიძლება დავადგინოთ საძიებელი რელაქსაციური რხევის სიხშირე.

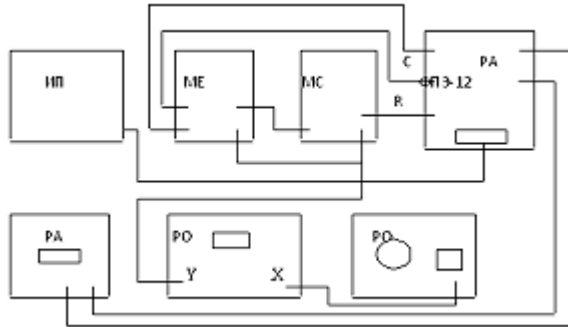


ნახ.5

მუშაობის მსვლელობა

დავალება 1: ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აგება

1. აკრიბეთ ნახ.6-ზე ნაჩვენები ბლოკ სქემა.



ნახ.6

2. მოამზადეთ კასეტა ФПЭ-12 სამუშაოდ, რისთვისაც დილაკი “режим“ აუშვით. 120 ვ ძაბვის რეგულატორი დააყენეთ მარცხენა უკიდურეს მდგომარეობაში, ხოლო გამზომი ხელსაწყო (PA) ამპერმეტრი მდგომარეობაში 10 mA.
3. ჩართეთ ლაბორატორიული სტენდი, კვების წყარო (ИП) და გამზომი ხელსაწყო (PA).
4. ცვალებით ძაბვა 40 ვ-დან 120 ვ-მდე (10 ვ ინტერვალით) და გაზომეთ დენის ძალა.
5. გაიმეორეთ იგივე გაზომვები 120 ვ-დან 40 ვ-მდე. მიღებული შედეგები შეიტანეთ 1-ცხრილში.

ცხრილი-1:

V	40	50	60	70	80	90	100	110	120
I mA(პირ)									
I mA(შებ)									

6. განსაზღვრეთ ლამპის ანთების და ჩაქრობის ძაბვა, რისთვისაც 1-ცხრილში აირჩიეთ შესაბამისი ინტერვალი, (ამ ინტერვალში ძაბვა ცვალებით 1-2 ვ-ით, როგორც პირდაპირი ისე შებრუნებული მიმართულებით), დააფიქსირეთ ძაბვის ის მნიშვნელობა, რომელზეც დენი ნახტომისებურად იცვლება ნულიდან რაღაც

მნიშვნელობამდე (ან მცირდება ნულამდე). ეს დაბვა იქნება ანთების (შესაბამისად ჩაქრობის) დაბვა.

7. გამორთეთ გამზომი ხელსაწყო და ააგეთ ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის გრაფიკი.

დავალება 2: რელაქსაციური რხევების გენერატორის შესწავლა

1. მოამზადეთ ხელსაწყო სამუშაოდ, რისთვისაც ჩართეთ ФПЭ-12 კასეტის დილაკი "II". წინაღობათა წყობილზე დააყენეთ $R=1.10^6$ ომი, ხოლო ტევადობათა წყობილზე $C=3.10^{-3}$ მკფ. კვების წყაროს სახელური 120 ვ მარცხენა უკიდურეს მდგომარეობაში. ოსცილოგრაფი დააყენეთ სიგნალის პერიოდის გაზომვის რეჟიმზე.
2. ჩართეთ ლაბორატორიული სტენდი და კვების წყაროზე 110 ვ (შეინარჩუნეთ ეს დაბვა მუშაობის პროცესში). ოსცილოგრაფის Y გაძლიერების გადამრთველი რომ ზომავდეს 1 ვ-ს და გაშლის სიხშირის რეგულირებით მიიღეთ 1-2 რელაქსაციური რხევის გრაფიკი.
3. ოსცილოგრაფის ეკრანზე გაზომეთ რელაქსაციური რხევის პერიოდი.
4. განსაზღვრეთ რელაქსაციური რხევების პერიოდი ბგერითი გენერატორის საშუალებით, რისთვისაც ოსცილოგრაფი ჩართეთ ლისაქუს ფიგურის მიღების რეჟიმში (ბგერითი გენერატორი დააყენეთ ~ 20 კჰც სიხშირეზე და დაბვა ~ 1 ვ-ზე) მიაღწიეთ ნახ.5-ზე გამოსახულ მდგრად ოსცილოგრამას, რომელსაც შეესაბამება სიხშირეთა შეფარდება 1:1. ჩაწერეთ გენერატორის ჩვენება. სიხშირის შემდგომი ზრდით მიაღწიეთ სიხშირეთა შეფარდებას 1:2 და 1:3 (ჩაწერეთ შესაბამისი სიხშირეები). გამოთვალეთ რელაქსაციური რხევის სიხშირე ფორმულით: $f = \frac{f_n}{n}$, სადაც f_n ბგერითი გენერატორის სიხშირეა $n=1;2;3$. გამოთვალეთ f -ის საშუალო მნიშვნელობა და განსაზღვრეთ რელაქსაციური რხევის პერიოდი $T = \frac{1}{f}$
5. განსაზღვრეთ აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.

ბმულ (დაკავშირებულ) კონტურებში ელექტრული რხევების შესწავლა

საჭირო ხელსაწყოები: 1. C-ლაბორატორიული სტენდი;

2. PQ-ბგერითი გენერატორი;

3. PO-ოსცილოგრაფი CI-76;

4. - კასეტა- ФПЭ-13;

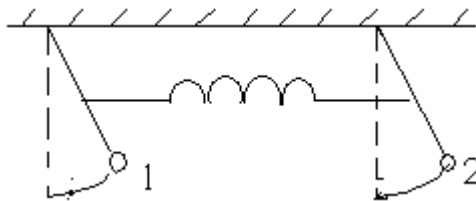
5. ПИ-იმპულსების გარდამქმნელი

6. ME -ტევადობათა წყობილი.

7. ИП- კვების წყარო;

სამუშაოს მიზანი: ერთმანეთთან სუსტად დაკავშირებულ კონტურებში ენერჯის ურთიერთ გაცვლის პროცესების შესწავლა.

რხევით კონტურში ელექტრულ რხევებს გააჩნია მექანიკაში ანალოგი, ω_0 სიხშირით მერხევი (დეროზე დაკიდებული ბურთულა) ქანქარა. მნიშვნელოვნად რთულ სისტემას წარმოადგენს ერთმანეთთან ზამბარით დაკავშირებული ორი ქანქარა (ნახ.1). ამ შემთხვევაში ქანქარები მონაწილეობენ კოლექტიურ რხევებში, რომელთა ამპლიტუდურ –სიხშირული მახასიათებლები დამოკიდებული იქნება ერთმანეთის მიმართ რხევის ფაზაზე.



ნახ.1

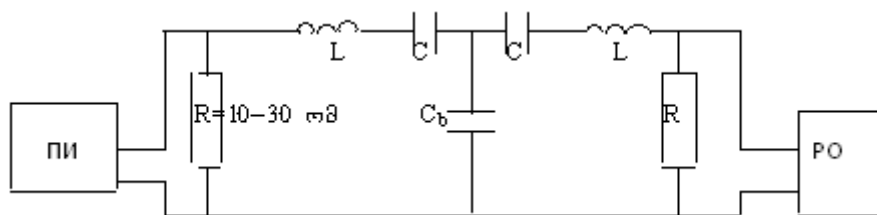
თუ ორივე ქანქარას საწყის მომენტში ექნება ერთნაირი ამპლიტუდა, რხევის საწყისი ფაზა და სიხშირე მაშინ სისტემა იმოძრაებს, როგორც ერთი ω_0 სიხშირით, მაგრამ თუ საწყის მომენტში ქანქარებს ექნება ურთიერთსაწინააღმდეგო წანაცვლება მაშინ სისტემა შეასრულებს რხევებს იგივე ამპლიტუდით მაგრამ მცირედ გადიდებული ω_1 სიხშირით. განხილული ორი შემთხვევა რხევის (ზოგჯერ მერხევი სისტემას ოსცილატორს უწოდებენ) წოდებულია როგორც დაკავშირებული სისტემების რხევის “ნორმალური მოდა”, ისე, რომ რხევა ω_0 სიხშირით ჩათვლილია ლუწ მოდად და აღნიშნავენ “+” ნიშნით ($\omega^+ = \omega_0$), ხოლო რხევას ω_1 (გადიდებული

სისშირით) უწოდებენ კენტ მოდას და აღნიშნავენ “-“ ნიშნით ($\omega = \omega_1$). დაკავშირებული სისტემის ნორმალურ მოდად ითვლება რხევა, როდესაც ამპლიტუდა თითოეული მერხევი სხეულისა არ იცვლება. უფრო ზოგად შემთხვევაში სისტემის რხევა უნდა განვიხილოთ, როგორც ცალკეული მერხევი სისტემის რხევათა ჯამი, მაგალითად ორი მერხევი კამერტონის მიერ გამოცემული ბგერები აღიქმება როგორც ბგერა რომლის ამპლიტუდა პერიოდულად იცვლება (მოდულით) $\omega_0 = \omega_1 - \omega_0$ სისშირით, ხოლო პერიოდი $T_0 = 2\pi/\omega_0$ (რხევების შეკრების ამ შემთხვევას “ძგერას” უწოდებენ, შესაბამისად ω_0 და T_0 ძგერის სისშირე და პერიოდი)/საერთოდ მიღებულია, რომ $\omega_1 \approx \omega_0$ და $\omega_1 > \omega_0$ /.

ნახ.1-ზე მოცემულ სისტემაში ძგერის დასაკვირვებლად საჭიროა ერთ-ერთი მაგ. 1 ბურთულა გადავხართ წონასწორობის მიმართ ხოლო მეორე (2) ბურთულა დავიჭიროთ იმავე ადგილზე და შემდეგ აუშვათ ერთდროულად ორივე, 1 ბურთულას რხევები დროის მიხედვით რაღაც მომენტიდან დაიწყებს შესუსტებას იმ დროს როდესაც 2-ის რხევები თანდათანობით ძლიერდება, ისე რომ მეორე ბურთულის რხევის მაქსიმუმის მომენტში პირველი გაჩერდება, ამის შემდეგ ყველაფერი განმეორდება (ბურთულები შეიცვლის როლებს).

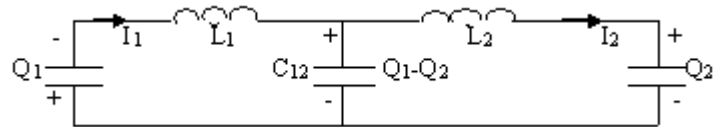
ენერგეტიკული თვალსაზრისით ეს პროცესი შეიძლება ასე განვიხილოთ; საწყის მომენტში მთელი ენერგია თავმოყრილია 1 სხეულში, რომელიც თანდათანობით გადადის მე-2 ზე, როდესაც 1-ის ენერგია მთლიანად დაიხარჯება ე.ი. ის ჩერდება ამ მომენტში მეორის ენერგია მაქსიმალურია, შემდეგ პროცესი განმეორდება საწინააღმდეგო მიმართულებით და რომ არ ყოფილიყო ენერგიის დანაკარგი რხევები იქნებოდა მიუღწევადი.

ძგერას შეიძლება დავაკვირდეთ ორი ერთნაირი LC კონტურისაგან შემდგარ ელექტრულ წრედში, რომლებიც ერთმანეთთან დაკავშირებულია C_b მცირე ტევადობის კონდენსატორით. წრედში რხევების აღძვრა ხდება იმპულსების გარდამქმნელის (ΠИ) საშუალებით ნახ.2.



ნახ.2

გამოთვლების სიმარტივისათვის განვიხილოთ ამ სქემის მარტივი ვარიანტი ნახ.3, სქემაზე აღნიშნულია მუხტის ნიშნები და დენის მიმართულება (ძვერის შემთხვევაში დენები თანხვედრილია) $L_1=L_2=L$; მოცემული ორი LC კონტურისათვის რომლებიც შეერთებულია ნახ.3 სქემის მიხედვით, Q მუხტების რხევის განტოლებები ასე ჩაიწერება:



ნახ.3

$$L \frac{dI_1}{dt} + \frac{Q_1}{C} + \frac{Q_1-Q_2}{C_{12}} = 0 \quad (1)$$

$$L \frac{dI_2}{dt} + \frac{Q_2}{C} - \frac{Q_1-Q_2}{C_{12}} = 0 \quad (2)$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ $I_1 = \frac{dQ_1}{dt}$, $I_2 = \frac{dQ_2}{dt}$ მივიღებთ:

$$L \frac{d^2Q_1}{dt^2} = -\frac{Q_1}{C} + \frac{Q_2-Q_1}{C_{12}} \quad (3)$$

$$L \frac{d^2Q_2}{dt^2} = -\frac{Q_2}{C} - \frac{Q_2-Q_1}{C_{12}} \quad (4)$$

(3) და (4) განტოლებები ორი ცვლადის რთული განტოლებებია, სიტუაციის გასამარტივებლად ეს განტოლებები შევკრიბოთ და გამოვაკლოთ ერთმანეთს; შეკრებით მივიღებთ:

$$L \frac{d^2(Q_1+Q_2)}{dt^2} = \frac{(Q_1+Q_2)}{C} \quad (5)$$

გამოკლებით დავწერთ:

$$L \frac{d^2(Q_1-Q_2)}{dt^2} = -\frac{(Q_1-Q_2)}{C} - \frac{2(Q_1-Q_2)}{C_{12}} \quad (6)$$

საწყის მომენტში ($t=0$) თუ სრულდება პირობა $(Q_1+Q_2) = 0$ მაშინ (5) განტოლების ამონახსენი

$$(Q_1+Q_2) = (Q_1+Q_2)_0 \cos \omega^+ t \quad (7)$$

$\omega^+ = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ -სიხშირე არის ერთი ქანქარის საკუთარი სიხშირე. ანალოგიურად (6) განტოლების ამონახსენი

$$(Q_1-Q_2) = (Q_1-Q_2)_0 \cos \omega^- t \quad (8)$$

სადაც $\omega^- = \sqrt{\frac{1}{L} \left(\frac{1}{C} + \frac{2}{C_{12}} \right)}$; ხოლო $(Q_1-Q_2)_0$ არის (Q_1-Q_2) -ის მნიშვნელობა საწყის ($t=0$) მომენტში.

(7) და (8) ფორმულებით აღწერილი მოძრაობის განტოლებები არის დაკავშირებული ოსცილატორების რხევის ნორმალური მოდები. ამ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ორ ერთმანეთთან დაკავშირებულ ელექტრულ კონტურში დენების რხევებთან. ღხევის ნორმალური მოდა- ეს დენის ისეთი კოლექტიური რხევაა, როდესაც თითოეული მუხტის რხევის ამპლიტუდა რჩება უცვლელი.

თუ ერთ-ერთ კონტურს წავანაცვლებთ საწყის მდგომარეობის მიმართ, ჯამური რხევა იქნება -რხევა ორი ნორმალური მოდით; თუ $Q_{20}=0$ მაშინ (7) და (8) ფორმულებიდან:

$$Q_1 = \frac{1}{2} Q_{10} (\cos \omega^+ t + \cos \omega^- t) \quad (9)$$

$$Q_2 = \frac{1}{2} Q_{10} (\cos \omega^+ t - \cos \omega^- t) \quad (10)$$

თუ გამოვიყენებთ ტრიგონომეტრიულ იგივეობებს:

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2} \quad (11)$$

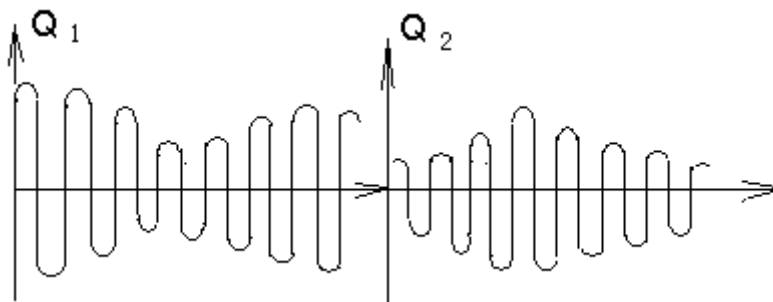
$$\cos A - \cos B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2} \quad (12)$$

მაშინ (9) და (10) განტოლებები ასე გადაიწერება:

$$Q_1 = Q_{10} \left(\cos \frac{\omega^+ - \omega^-}{2} t \right) \cos \frac{\omega^+ + \omega^-}{2} t \quad (13)$$

$$Q_2 = Q_{10} \left(\sin \frac{\omega^+ - \omega^-}{2} t \right) \sin \frac{\omega^+ + \omega^-}{2} t \quad (14)$$

(13) და (14) ფორმულებით გამოსახული Q_1 და Q_2 ფუნქციების დროზე დამოკიდებულების გრაფიკებს აქვს ნახ.4-ზე ნაჩვენები სახე.



ნახ.4

საყურადღებოა, რომ საწყის მომენტში $Q_2 = 0$, მაგრამ მისი მნიშვნელობა იზრდება, ხოლო Q_1 -ის მცირდება მანამ, სანამ არ შესრულდება პირობა $\frac{\omega^+ - \omega^-}{2} t = \frac{\pi}{2}$ (ამ დროს $Q_1 = 0$, ხოლო Q_2 მაქსიმალურია).

ნახ.4-ზე მოცემული სიტუაცია ენერგეტიკული თვალსაზრისით ასე შეიძლება წარმოვიდგინოთ: საწყის მომენტში სრული ენერგია თავმოყრილია 1 კონტურში. C_{12}

ტევადობის საშუალებით ენერგია გადავა 1 კონტურიდან მე-2 კონტურში. დროის შუალედი რომლის განმავლობაშიც ენერგია გადავა 1 დან 2-ში და პირიქით (ანუ ერთი სრული რხევა) განისაზღვრება პირობიდან $\frac{\omega^+ - \omega^-}{2} t_{გაც} = \pi$, ($t_{გაც} = \frac{2\pi}{\omega^+ - \omega^-}$) ხოლო სიხშირე

$$\omega_{გაც} = \omega^+ - \omega^- = 2\pi / t_{გაც}. \quad (15)$$

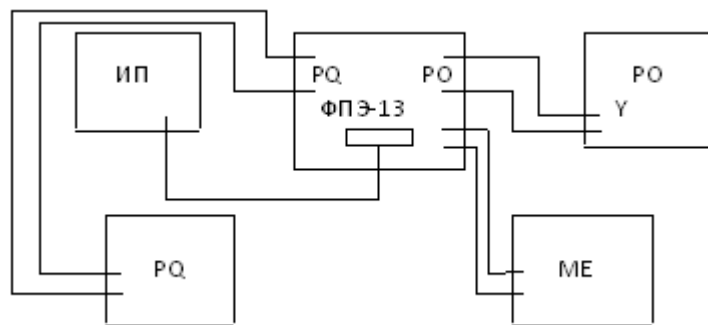
რხევის ლუწ მოდას, რომელიც აღნიშნულია “+” სიმბოლოთი შეესაბამება ორივე კონტურში დენის ერთნაირი მიმართულება, რიის გამოც ჩ₁₂ კონდენსატორზე მუხტი არ არსებობს, ხოლო რხევის სიხშირე ω^+ ისეთივეა როგორც ცალკე აღებული ერთი კონტურისა, ე.ი. $\omega^+ = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega$. ორმაგური რხევის კენტი მოდის შემთხვევაში (“-“ ნიშნის) C₁₂ დამუხტულია, რაც იწვევს სიხშირის ზრდას და $\omega^- = \sqrt{\frac{1}{L}(\frac{1}{C} + \frac{2}{C_{12}})}$.

უნდა შევნიშნოთ, რომ განხილული თეორია სამართლიანია მხოლოდ ერთნაირი სიხშირის კონტურებისათვის რომელთა შორის კავშირი სუსტია ($\frac{C}{C_{12}} \ll 1$) მაშინ (15) გამოსახულება შეიძლება ასე გარდავქმნათ:

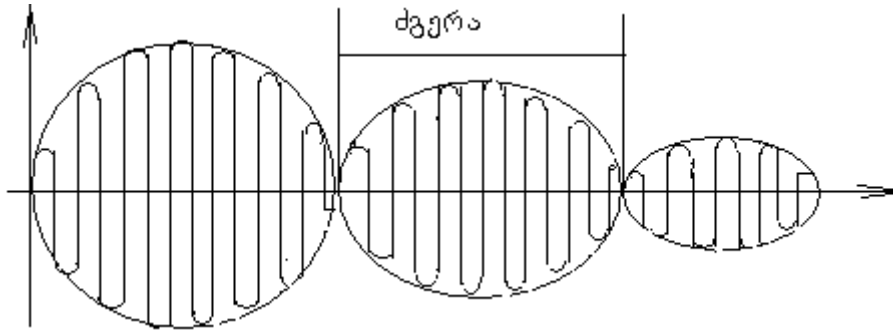
$$\begin{aligned} \omega_{გაც} &= \sqrt{\frac{1}{LC}} - \sqrt{\frac{1}{LC} + \frac{2}{LC_{12}}} = \sqrt{\frac{1}{LC}} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2LC}{LC_{12}}}\right) = \sqrt{\frac{1}{LC}} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2C}{C_{12}}}\right) \approx \\ &\approx \sqrt{\frac{1}{LC}} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{2C}{C_{12}} + \left(\frac{C}{C_{12}}\right)^2}\right) \approx \sqrt{\frac{1}{LC}} \left(1 - \sqrt{\left(1 + \frac{C}{C_{12}}\right)^2}\right) \approx \frac{C}{C_{12}} \omega \end{aligned} \quad (16)$$

ცხადია მიღებული ენერგიის გაცვლის სიხშირე ძვერის სიხშირის ტოლია, ამიტომ კონტურების პარამეტრების შერჩევის საშუალებით შეიძლება სიხშირეთა სხვაობა $\omega_{გაც} = \omega^+ - \omega^-$ დაყვანილი იქნას მინიმუმზე.

ძვერის შესწავლა, ანუ ბმულ კონტურებში ენერგიის გაცვლა, არის ერთ-ერთი პრაქტიკული საკითხი მოცემული ლაბორატორიული ამოცანისა.



ნახ.5



ნახ.6

მუშაობის მსვლელობა

1. აკრიბეთ ნახ.5-ზე ნახევნები ბლოკ სქემა.
2. მოამზადეთ წრედი სამუშაოდ, რისთვისაც:
 - ა) ტევადობათა წყობილზე დააყენეთ $C=4 \cdot 10^{-2}$ მკფ ტევადობა.
 - ბ) ბგერით გენერატორზე დააყენეთ 200 ჰც სიხშირე და 2-4 ვ ძაბვა (სინუსოიდალური სიგნალი).
 - გ) მოამზადეთ ოსცილოგრაფი: (მიადწიეთ “ძვერის” მდგრად სურათს)
3. კასეტის მონაცემებით გამოთვალეთ $T_{რეზ} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ (რხევის პერიოდი)
4. ცვალეთ C_{12} ტევადობა (ტევადობათა წყობილზე) დიაპაზონში $4 \cdot 10^{-2}$ -დან $4 \cdot 10^{-1}$ მკფ-მდე. გაზომეთ ძვერის პერიოდი (დათვალეთ “ძვერაში” მაქსიმუმების რიცხვი N (ნახ.6))
 5. $T = T_{რეზ} \cdot N$ ფორმულით გამოთვალეთ ძვერის პერიოდი.
 6. ააგეთ $T=f(C_{12})$ დამოკიდებულების გრაფიკი.
 7. $T = \frac{C_{12}}{C} \cdot T_{რეზ}$ ფორმულით გამოთვალეთ ძვერის პერიოდი და შეადარეთ ექსპერიმენტით მიღებულ შედეგს
 8. მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

C_{12} (მკფ)	
N	

T (წმ) ექსპ.	
T (წმ) თეორ.	

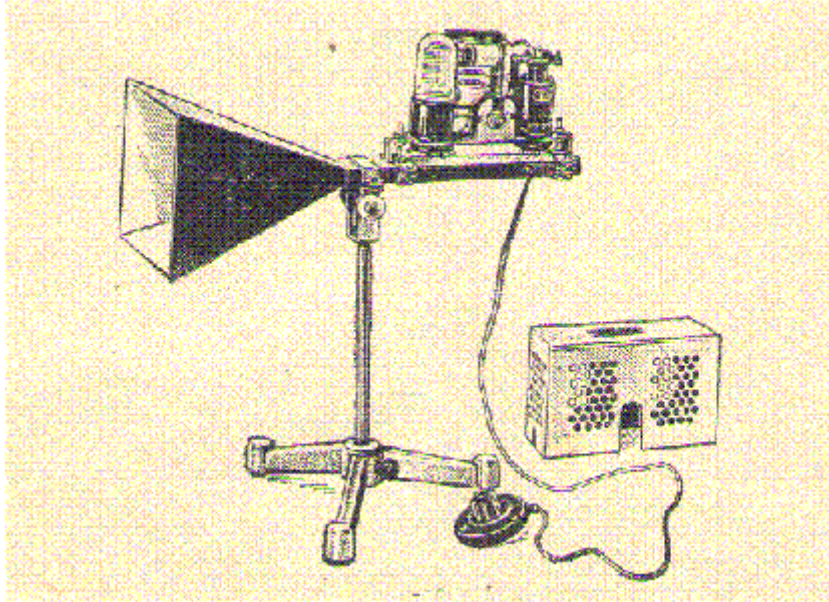
თავი II

ელექტრომაგნიტური ტალღების თვისებების შესწავლა

თანამედროვე ტელე და რადიოტექნიკის განვითარება მჭიდროდაა დაკავშირებული მოკლეტალღური დიაპაზონის ელექტრომაგნიტური ტალღების თვისებების შესწავლასა და სხვადასხვა გარემოში მისი გავრცელების (გადამცემი და მიმღები ტექნიკის) კანონზომიერებათა ათვისებასა და პრაქტიკულ რეალიზაციასთან. სანტიმეტრული, მილიმეტრული და სუბმილიმეტრული ელექტრომაგნიტური ტალღები განსაკუთრებულ გამოყენებას პოულობენ მეცნიერებისა და ტექნიკის სხვადასხვა სფეროში. მათი გამოყენება ხდება რადიოლოკატორებში, სარელეო რადიო და სატელეფონო კავშირგაბმულობაში, მათი საშუალებით ხდება ნივთიერებათა რადიო სპექტროსკოპული გამოკვლევა, შეისწავლება ზეგამტარობის მოვლენები, წარმოებს სხვადასხვა დაავადებათა დიაგნოსტიკა და მკურნალობა, ხორციელდება საავიაციო და კოსმოსური ტექნიკის მართვა, მეცნიერთა განსაკუთრებული ყურადღება მიიპყრო უკანასკნელ ათწლეულში გლობალური ენერგეტიკული პრობლემების გადაწყვეტის საქმეში ზემადალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღების გამოყენების საკითხებმა. ამდენად; ელექტროენერგეტიკის, ტელეკომუნიკაციების, კრიმინალისტიკური ტექნიკის და ტექნიკური ექსპერტიზის და მათი მომიჯნავე სპეციალობის სტუდენტებისათვის ძალზე მნიშვნელოვანია მოკლეტალღური დიაპაზონის ტექნიკის საფუძვლიანი დაუფლება, რაც ელექტრომაგნიტურ ტალღათა თვისებების შესწავლით არის შესაძლებელი. ლაბორატორიული კომპლექტი, რომლის საშუალებითაც შეიძლება ელექტრომაგნიტური ტალღების თვისებების შესწავლა

შედგენილია ქარხანა “Электродело“-ს მთავარი კონსტრუქტორის ი.დ.ტურინის მიერ და რომლის მთავარი ნაწილებია:

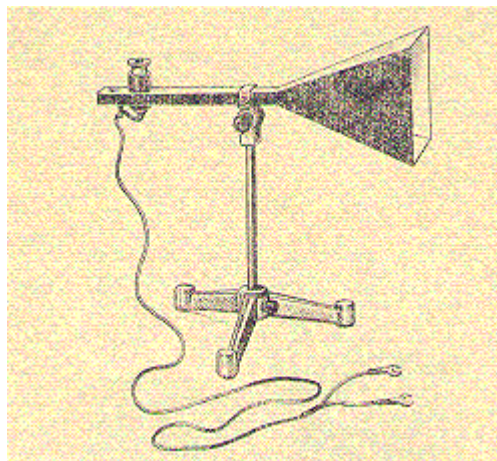
-ზემაღალი სიხშირის (ზს) /სანტიმეტრული დიაპაზონის/ გენერატორი (ნახ.1)



ნახ.1

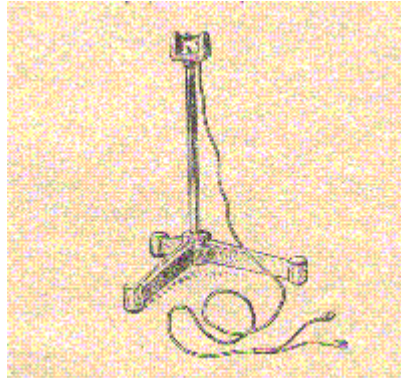
მართკუთხა პირამიდის ფორმის რუპორული ანტენით. **შენიშვნა** სტუდენტს ხელსაწყოსთან მუშაობა მასწავლებლის გარეშე ეკრძალება, უსაფრთხოების წესების გამო, ხელსაწყოზე მუშა პროცესის დროს მოდებული ძაბვა 350 ვოლტია!!!

-მართკუთხა ტალღასატარზე დამავრებული პირამიდული ფორმის მიმღები ანტენა (ნახ.2).



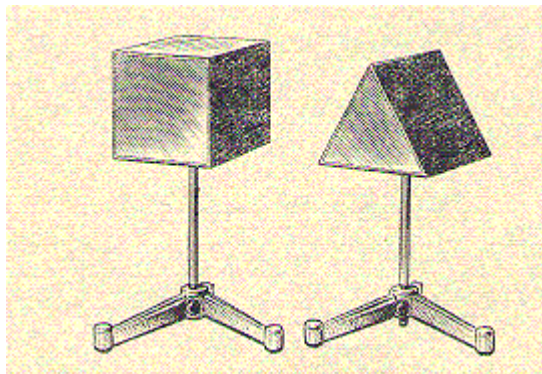
ნახ. 2

-დიპოლური ტიპის მიმღები ანტენა (ნახ.3).



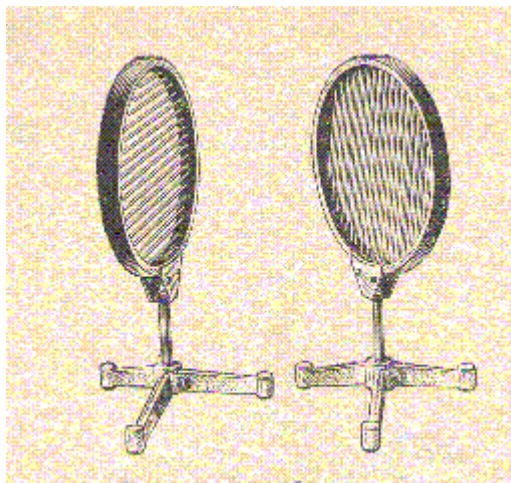
ნახ.3

-სამწახნაგა და მართკუთხა პლასტმასის პრიზმები (ნახ.4).



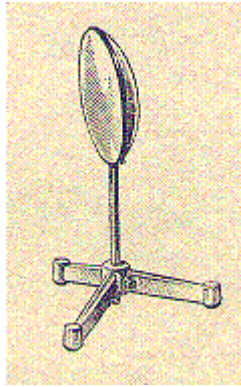
ნახ.4

-მაპოლარიზებელი მესერი 2 ცალი (ნახ.5)



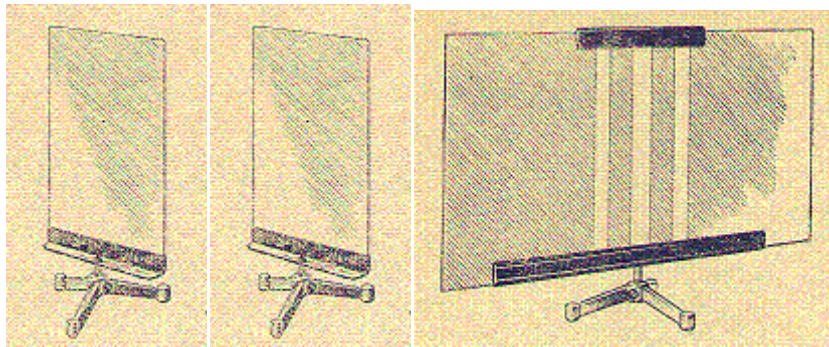
ნახ.5

-ბრტყელ-ამოზნექილი პლასტმასის (გაუმჟვირვალე) ლინზა (ნახ.6).



ნახ.6

-მეტალის მართკუთხა და წრიული ფირფიტები, პლასტმასის ფირფიტა და დამჭერები (ნახ.7,8,9).



ნახ.7

ნახ.8

ნახ.9

-უნივერსალური გამმართველი.

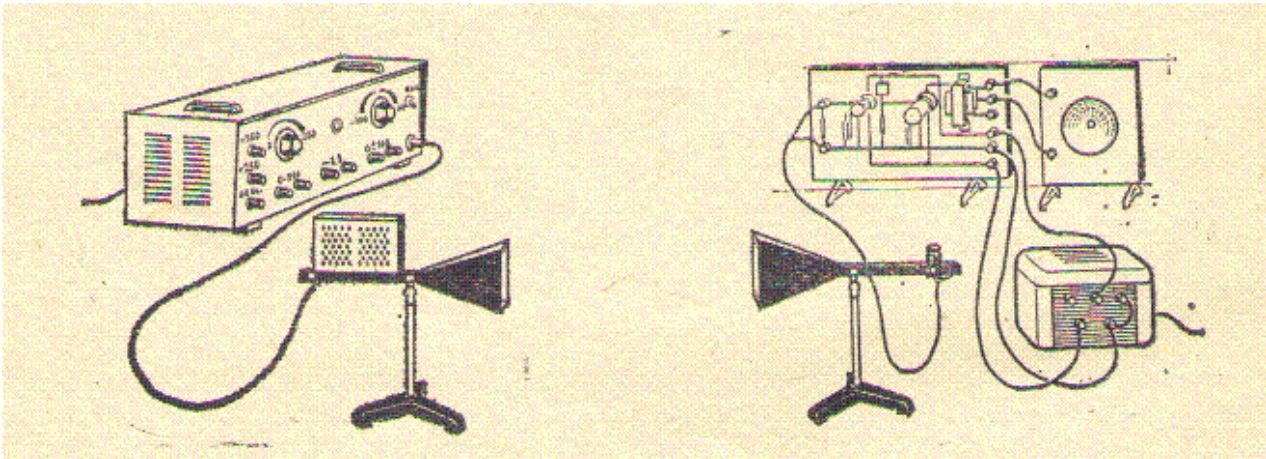
-დაბალი სიხშირის გამაძლიერებელი.

-დინამიკი ან ოსცილოგრაფი.

სქემის აკრების თანმიმდევრობა

(I ვარიანტი)

1. მოათავსეთ სადემონსტრაციო მაგიდაზე ზემოაღნიშნული სიხშირის გენერატორი და მიმღები ანტენა, ერთ სიმაღლეზე რუპორებით ერთმანეთისაკენ 2-3 მეტრის დაშორებით (ნახ.10).



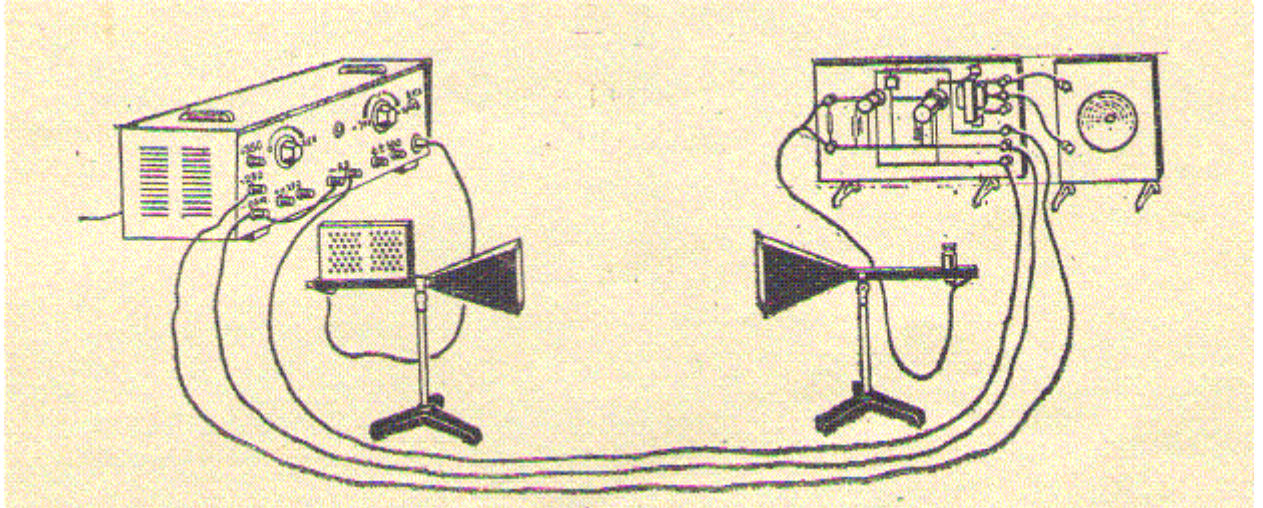
ნახ.10

2. მიუერთეთ გენერატორი უნივერსალურ გამმართველს /მასწავლებლის გარეშე გამმართველი არ ჩართოთ!!!
3. მიმღები ანტენის მათულების თავისუფალი ბოლოები მიუერთეთ დაბალი სიხშირის გამაძლიერებელს (გაითვალისწინეთ, რომ შემაერთებელი გამტარების ჩართვისას მნიშვნელობა აქვს ცენტრალური და დამიწების მათულის სწორად შეერთებას).
4. დაბალი სიხშირის გამაძლიერებლის მარჯვენა ზედა მომჭერებს მიუერთეთ დინამიკი.
5. ხოლო გამაძლიერებლის მარჯვენა ქვედა სამი მომჭერი მიუერთეთ გამმართველს, ისე რომ გამმართველის “+250” ვ. შეაერთეთ გამაძლიერებლის ზედა მომჭერს, “-ინა“ გამაძლიერებლის შუანა მომჭერს და გამმართველის “≈6,3” მარცხენა მომჭერი-გამაძლიერებლის ქვედა მომჭერს, გამმართველის “≈6,3” მარჯვენა მომჭერი “-ინა“-ს.
6. შეამოწმეთ აკრებილი სქემის სისწორე და **მასწავლებლის ნებართვით** ჩართეთ ქსელში გამმართველი, 2-3 წუთის შემდეგ გენერატორის პოტენციომეტრის საშუალებით დაარეგულირეთ სიგნალის ტონალობა (ამ

პროცესის დროს პოტენციომეტრით გენერატორის სიხშირე შეიძლება ცვალოთ (400-800 ჰერცი სიხშირის დიაპაზონში)

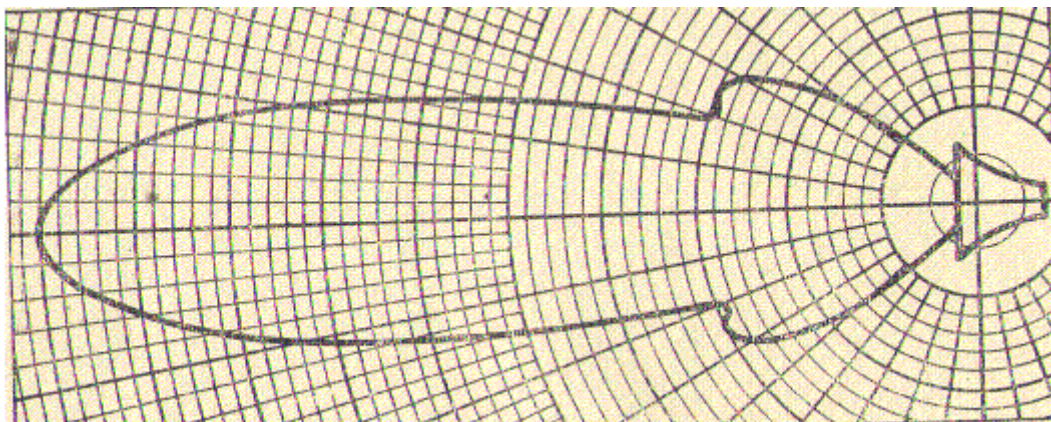
(II ვარიანტი)

ამ შემთხვევაში (ნახ.11) წრედის აკრება ხდება მხოლოდ უნივერსალური გამმართველის გამოყენებით და მე-5 პუნქტისათვის საჭირო კონტაქტები ხორციელდება უნივერსალური გამმართველიდან.



ნახ.11

დავალება 1. მიმართულების დიაგრამის აგება (ნახ.12).



ნახ.12

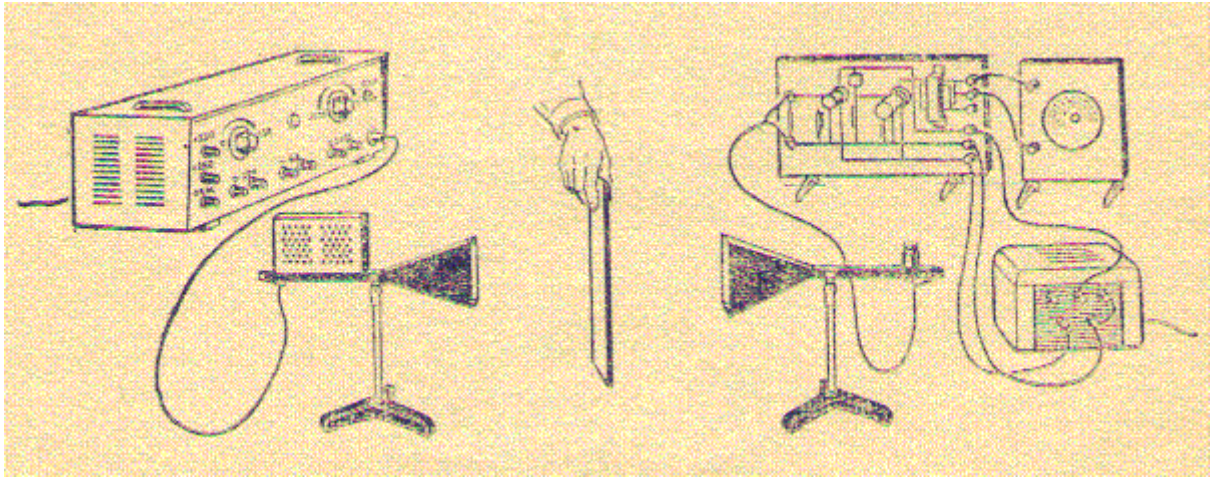
1. აკრიბეთ (ნახ.10 ან ნახ.11) მოცემული სქემა, (დინამიკის ნაცვლად სქემაში ჩართეთ ოსცილოგრაფი, ხოლო მიმღებ ანტენად დიპოლური ანტენა).
2. გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის მანძილი დაყავით სექტორებად / რადიუსის 30 სანტიმეტრიანი ზრდით/
3. სექტორის ცენტრალური რადიუსის ორივე მხარეს ერთნაირი მანძილით დაშორებულ წერტილებში გაზომეთ სიგნალის ამპლიტუდური მნიშვნელობა ოსცილოგრაფის ეკრანზე.
4. ცდა გაიმეორეთ სხვადასხვა სექტორებისათვის.
5. დაკვირვების შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში
6. ააგეთ მიმართულების დიაგრამა

დაკვირვებათა ცხრილი

N	R	U											
		ცენტრიდან მარცხნივ						ცენტრიდან მარჯვნივ					
1	30												
2	60												
3	90												
4	120												
5	150												
6	180												

დავალება 2. გამტარების მაკრანირებელი მოქმედების დაკვირვება

1. აკრიბეთ (ნახ.13) მოცემული სქემა.
2. ჩართეთ გენერატორი და მიიღეთ დინამიკში მკაფიო სიგნალი.
3. თანდათანობით შეიტანეთ გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის მეტალის ფირფიტა და დააკვირეთ ბგერის ინტენსივობის ცვლილებას.
4. ცდა გაიმეორეთ დიელექტრიკული ფირფიტის შემთხვევისათვის.



ნახ.13

დავალება 3. არეკვლის კანონის შემოწმება

ელექტრომაგნიტური ტალღების არეკვლის კანონები:

I. დაცემული სხივი, არეკვლილი სხივი და სხივის დაცემის წერტილში აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ.

II. დაცემის კუთხე, არეკვლის კუთხის ტოლია ---

1. აკრიბეთ (ნახ.14) მოცემული სქემა.

2. ჩართეთ გენერატორი და მიიღეთ დინამიკში მკაფიო სიგნალი.

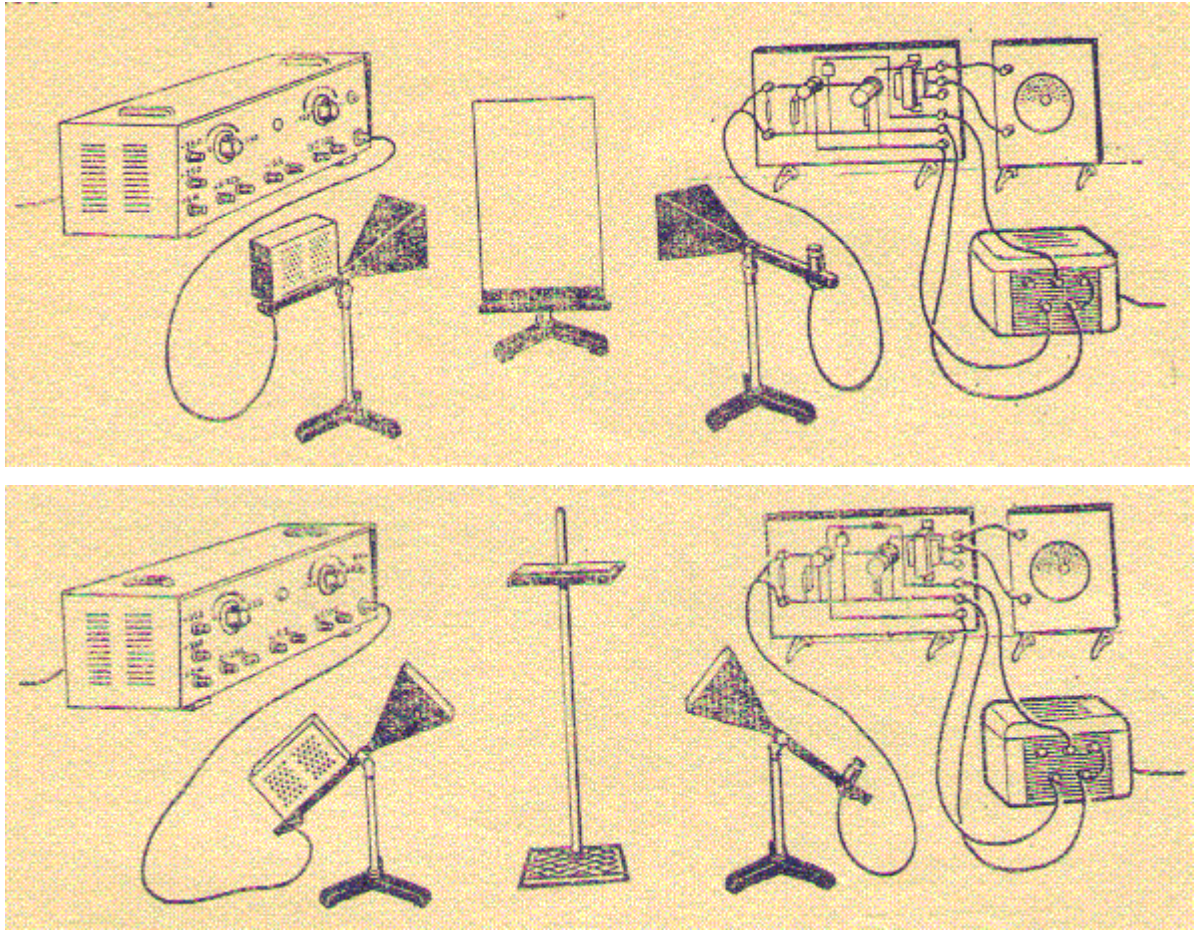
განალაგეთ გადამცემი და მიმღები ანტენები ისე, როგორც ნახ.14 –ზე არის მოცემული.

3. მიმღები ანტენის ორიენტაციის ცვლილებით მიაღწიეთ ფირფიტიდან მაქსიმალური სიგნალი.

4. შეეცადეთ ააგოთ დაცემისა და არეკვლის კუთხეები.

ცდა გაიმეორეთ გადამცემი ანტენის სხვადასხვა მდებარეობისათვის.

5. დახაზეთ თითოეული ცდის შესაბამისი დაცემის და არეკვლის კუთხეები.



ნახ.14

დავალება 4. ჩაზნექილი სარკის შემკრები მოქმედების შესწავლა

1. გადამცემი ანტენიდან დაახლოებით 1 მეტრის მანძილზე მოათავსეთ მიმღები დიპოლური ანტენა და დაიმასსოვრეთ ბგერის ინტენსივობა.
2. გადამცემი ანტენიდან დაახლოებით 1,5-2 მეტრის მანძილზე მოათავსეთ ჩაზნექილი ლითონის სფერული სარკე.
3. შეაბრუნეთ მიმღები დიპოლური ანტენა სარკისაკენ და სარკესა და გადამცემ ანტენას შორის ამოძრავეთ მანამ სანამ არ მიაღწევთ ბგერის ინტენსივობის მაქსიმუმს.
4. გაზომეთ მანძილი სარკესა და მიმღებ ანტენას შორის (ფოკუსური მანძილი).

5. ფიზიკის (მექანიკის) ლაბორატორიული ამოცანის მეთოდის გამოყენებით დაადგინეთ სარკის სიმრუდის რადიუსი.
6. სიმრუდის რადიუსის ნახვერის მნიშვნელობა შეადარეთ სარკესა და მიმღებ ანტენას შორის გაზომილ მანძილს.
7. ცდა გაიმეორეთ სარკესა და გადამცემ ანტენას შორის სხვადასხვა მანძილისათვის.
8. გამოთვალეთ ფოკუსური მანძილის საშუალო მნიშვნელობა, აბსოლუტური და ფარდობითი ცდომილება.
9. მიღებული შედეგები შეიტანეთ ცხრილში.

დაკვირვებათა ცხრილი:

N	F	F _{საშ}	ΔF	ΔF/F _{საშ}	შენიშვნა

დავალება 5. ელექტრომაგნიტური ტალღების გარდატეხის კანონის შემოწმება.

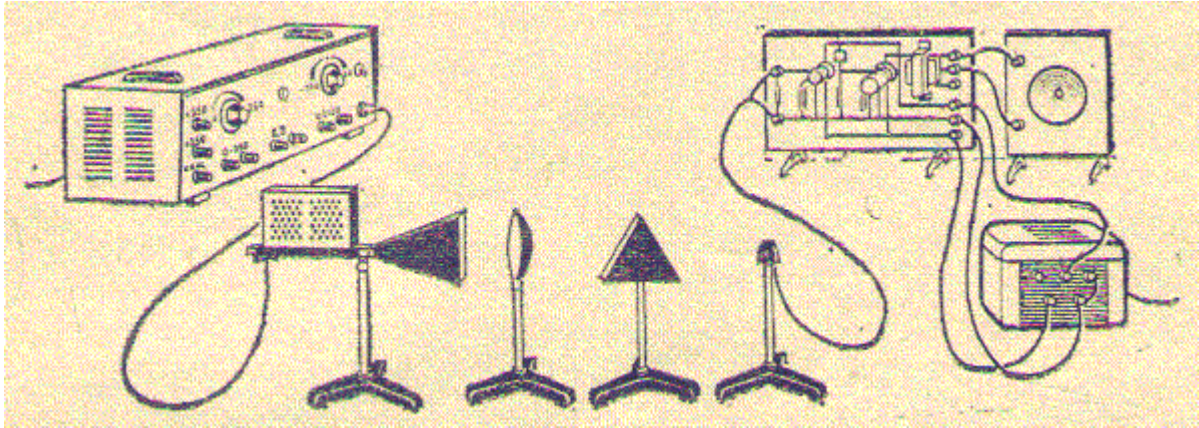
ელექტრომაგნიტური ტალღების გარდატეხის კანონებია:

- I. დაცემული სხივი, გარდატეხილი სხივი და სხივის დაცემის წერტილში აღმართული მართობი ერთ სიბრტყეში მდებარეობენ.
- II. დაცემის – კუთხის სინუსის ფარდობა გარდატეხის – კუთხის სინუსთან, მოცემული ორი ერთგვაროვანი გარემოსათვის, მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს რომელსაც მეორე გარემოს ფარდობითი გარდატეხის მაჩვენებელი ქვია პირველის მიმართ.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}$$

1. გადამცემი ანტენიდან 1-1,5 მ მანძილზე მოათავსეთ დიპოლური მიმღები ანტენა და ჩართეთ გენერატორი.
2. გადამცემ და მიმღებ ანტენებს შორის მოათავსეთ მართკუთხა ფორმის პლასტმასის პრიზმა.
3. ცვალებით ელექტრომაგნიტური ტალღის დაცემის კუთხე და თითოეული კუთხის შემთხვევაში მოძებნეთ მიმღები ანტენისათვის ბგერების ინტენსივობის მაქსიმუმის მდებარეობა.

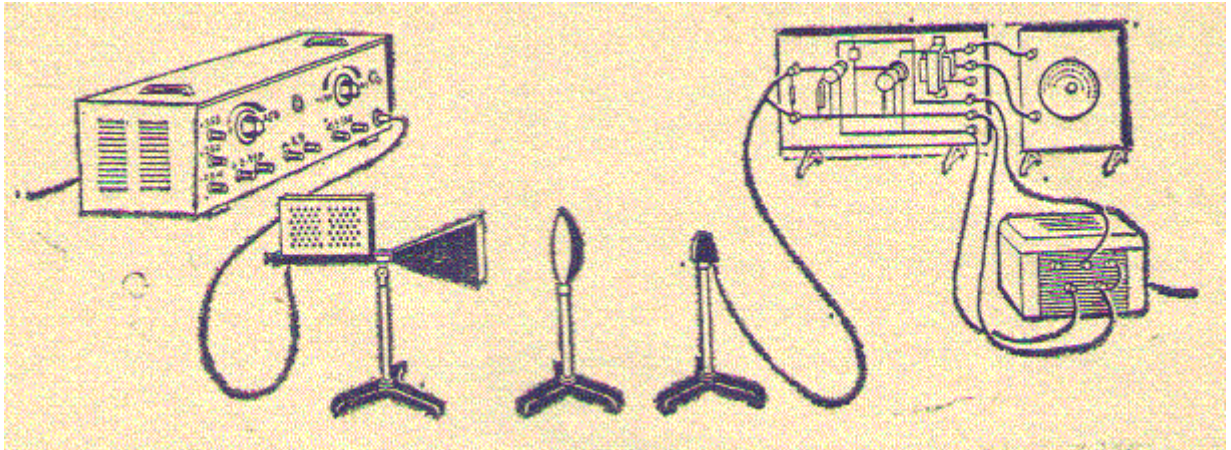
4. დასაზეთ ტალღების შესაძლო გავრცელების სურათი.
5. ანალოგიური ცდები ჩაატარეთ სამწახნაგა ლინზის გამოყენებით.
6. დასაზეთ ტალღების შესაძლო გავრცელების სურათი.
7. შეამოწმეთ არეკვლილი ტალღების არსებობა.



ნახ.15

დავალება 6. შემკრები და გამბნევი ლინზების გამოკვლევა

1. მოათავსეთ გენერატორიდან 80-120 სმ-ის დაშორებით დიპოლური მიმღები ანტენა.
2. მოათავსეთ გენერატორსა და მიმღებ ანტენას შორის ბრტყელამოზნეკილი პლასტმასის ლინზა.
3. მიმღები ანტენის მოძრაობით მიაღწიეთ ბგერითი სიგნალის ინტენსივობის მაქსიმუმს, (დარწმუნდით მაქსიმუმის წერტილის ერთადერთობაში).
4. ცდა გაიმეორეთ ლინზის სხვადასხვა მდებარეობისათვის და თითოეულ შემთხვევაში გაზომეთ მანძილი ლინზიდან მიმღებ ანტენამდე.
5. ანალოგიური ცდები გაიმეორეთ ჩაზნეკილი ლინზის შემთხვევაში.
6. გააკეთეთ სათანადო დასკვნები.



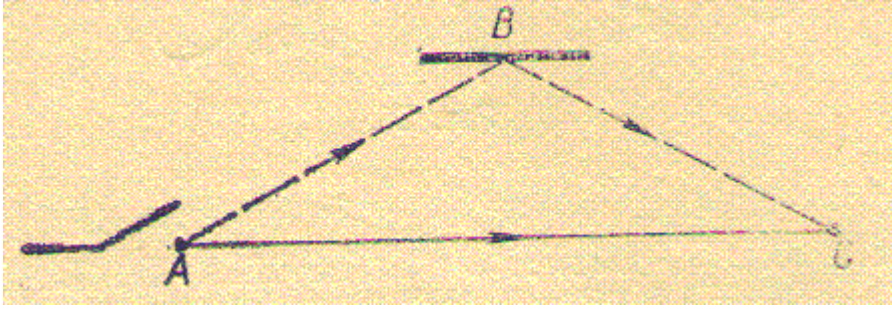
ნახ.16

დავალბა 7. ელექტრომაგნიტური ტალღების ინტერფერენცია

ინტერფერენცია ეწოდება ტალღების ზედდებას (შეკრებას), რომლის შედეგად ისინი ან აძლიერებენ, ან ასუსტებენ ერთმანეთს. იქ, სადაც ტალღები აძლიერებენ ერთმანეთს, მიიღება ბგერის ინტენსივობის მაქსიმუმი, ხოლო სადაც ასუსტებენ – მინიმუმი. მაქსიმუმის და მინიმუმის ერთობლიობას ინტერფერენციული სურათი ეწოდება.

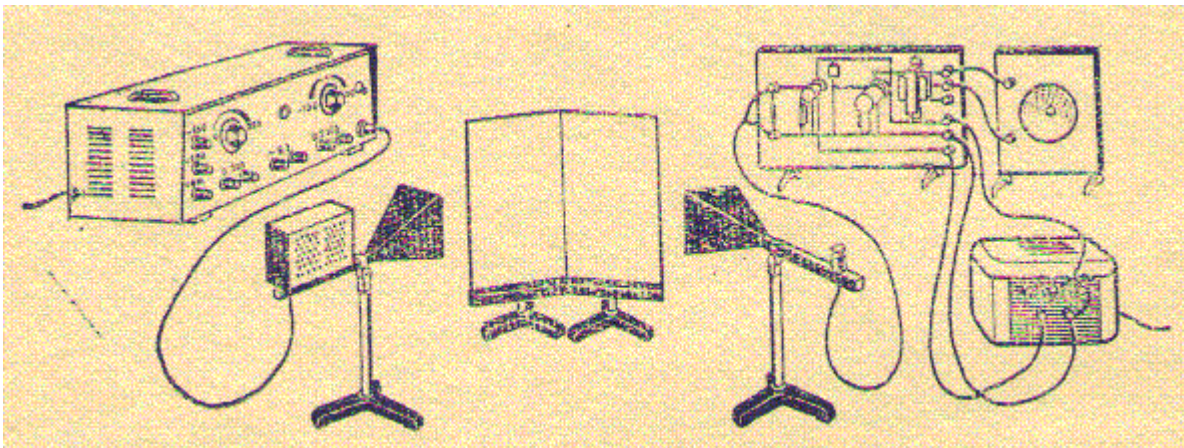
განვიხილოთ ცალ-ცალკე ინტერფერენციაზე დაკვირვების ორი მეთოდი (ლოიდის (ნახ.17) და ფრენელის (ნახ.18) მეთოდები):

1. მოათავსეთ გადამცემი და მიმღები დიპოლური ანტენები ისე, რომ ბგერის ინტენსივობა იყოს მაქსიმალური.
2. გაატარეთ ანტენების ცენტრებზე გამავალი წრფე.
3. წრფის პარალელურად მოათავსეთ მეტალის მართკუთხა ფირფიტა ისე, რომ ბგერის ინტენსივობა იყოს მინიმალური.
4. ამოძრავეთ მიმღები ანტენა წრფის მართობულად და დააფიქსირეთ მაქსიმალური ინტენსივობის წერტილები.
5. გაზომეთ შესაბამისი მანძილები.



ნახ.17

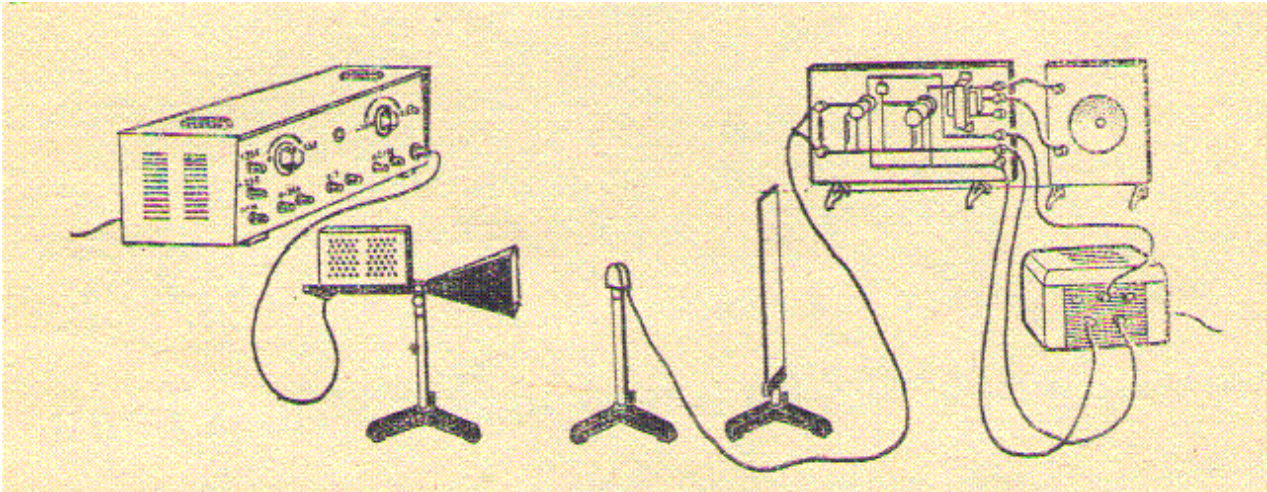
6. ფრენელის მეთოდის სადემონსტრაციოდ გამოიყენეთ ერთმანეთთან დაახლოებით 180° -ზე ნაკლები კუთხით მიდგმული ორი ლითონის მართკუთხა ფირფიტა.
7. მოთავსეთ გადამცემი ანტენა ფირფიტების მიმართ რაღაც კუთხით.
8. მიმღები ანტენა ამოძრავეთ ფირფიტების პარალელურ წრფეზე (მოსალოდნელი არეკლილი ტალღების უბანში).
9. დააფიქსირეთ ბგერითი სიგნალის ინტენსივობის შესაძლო მაქსიმუმების წერტილები.
10. გაზომეთ მანძილები წერტილებს შორის.
11. შეადარეთ ორივე მეთოდით მიღებული შედეგები.



ნახ.18

დავალება 8. მდგრადი ტალღების მიღება (ნახ.19)

თუ მოვახდენთ გენერატორიდან გამოსული და სარკიდან არეკლილი ტალღების შეკრებას მივიღებთ ეგრეთ წოდებულ მდგრად ტალღებს, რომელთა შესაბამის ინტენსივობის მაქსიმუმებს და მინიმუმებს ექნება მკაცრად განსაზღვრული მდებარეობა. ექსპერიმენტულად მდგრადი ტალღების დასაკვირვებლად:



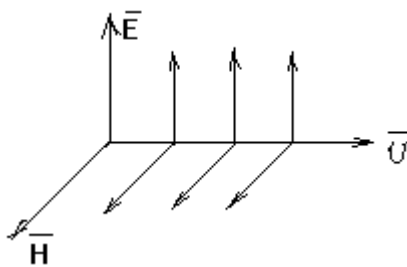
ნახ.19

1. გენერატორიდან 1-1,5 მ-ის დაშორებით მოათავსეთ მეტალის მცირე ფირფიტა (სარკე), ხოლო მათ შორის დიპოლური მიმღები ანტენა.
2. მოძებნეთ წერტილი სადაც სარკიდან არეკლილი ტალღები იძლევა ინტენსივობის მაქსიმუმს, დანიშნეთ წერტილის მდებარეობა.
3. გენერატორის და სარკის შემაერთებელ წრფეზე 1-2 სმ ბიჯებით თავდაპირველი მდებარეობის მიმართ წინ და უკან ამოძრავეთ მიმღები ანტენა და დააფიქსირეთ ბგერითი სიგნალის ინტენსივობის მაქსიმუმების წერტილები.
4. ანალოგიურად მოძებნეთ მინიმუმის წერტილები.
5. გააანალიზეთ ექსპერიმენტით მიღებული შედეგები.

დავალბა 9. ელექტრომაგნიტური ტალღების პოლარიზაცია

ელექტრომაგნიტიზმიდან ვიცით, რომ ცვლადი ელექტრული ველი ქმნის ცვლად მაგნიტურ ველს და პირიქით. წარმოიშობა ელექტრომაგნიტური ველი. თუ ამ ველს მიეცემა სივრცეში გავრცელების საშუალება, იტყვიან რომ სივრცეში ვრცელდება ელექტრომაგნიტური ტალღა.

ელექტრომაგნიტური ტალღაში ელექტრული ველის დაძაბულობის \vec{E} ვექტორი და მაგნიტური ველის დაძაბულობის \vec{H} ვექტორი ტალღის გავრცელების მიმართულების პერპენდიკულარულად ირხევა. ამასთან ერთად ყოველთვის $\vec{E} \perp \vec{H}$ (ნახ. 20)



ნახ.20

ამ ორ ვექტორს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობის \vec{E} – ვექტორს უფრო დიდი როლი ენიჭება, რადგან ნივთიერებასთან ურთიერთქმედების დროს ელექტრული ველი უფრო ძლიერად მოქმედებს ნივთიერებაზე, ვიდრე მაგნიტური ველი. ამიტომ შემდგომში მხოლოდ \vec{E} ვექტორზე გავამახვილებთ ყურადღებას.

ჩვეულებრივ ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის რხევა ქაოსურად წარმოებს. არცერთ მიმართულებას არ ენიჭება რაიმე უპირატესობა მაგრამ შესაძლებელია ამ რხევების მოწესრიგება.

ტალღაში ელექტრული (ან მაგნიტური) რხევების მოწესრიგებას პოლარიზაცია ეწოდება.

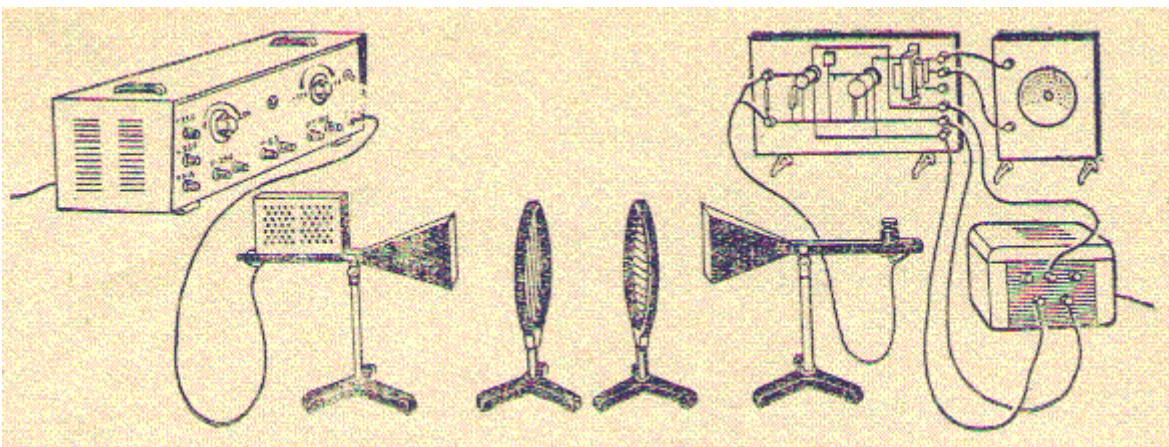
თუ პოლარიზებულ ტალღაში \vec{E} ვექტორი გარკვეულ სიბრტყეში ირხევა და ეს სიბრტყე არ იცვლის ორიენტაციას სივრცეში, ასეთ ტალღას ბრტყლად პოლარიზებული ეწოდება. თუ \vec{E} ვექტორი იცვლის მიმართულებას სივრცეში, მაგრამ ისე, რომ მისი წვერო შემოწერს წრეწირს, მაშინ ტალღას წრიულად პოლარიზებული ეწოდება.

განვიხილოთ როგორ მიიღება პოლარიზებული ელექტრომაგნიტური ტალღა:

1. გადამცემ და მიმღებ რუპორულ ანტენებს შორის მოათავსეთ მაპოლარიზებელი მესერები ერთნაირი ორიენტაციით და მიაღწიეთ ბგერის ინტენსივობის მაქსიმუმს (ნახ.21).
2. ერთ-ერთი პოლარიზატორის თანდათანობით ბრუნვისას დააკვირდით ბგერის ინტენსივობის ცვლილებას.
3. ცდა გაიმეორეთ შემობრუნების კუთხის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის.
4. მიღებული შედეგები შეადარეთ ოპტიკაში ცნობილ მალიუსის კანონს $I = I_0 \cos^2 \varphi$, სადაც I_0 არის ინტენსივობის მაქსიმუმი ხოლო I პოლარიზებული ტალღის ინტენსივობა, φ პოლარიზატორის შემობრუნების კუთხე.
5. ცდით მიღებული შედეგები შეიტანეთ დაკვირვებათა ცხრილში

დაკვირვებათა ცხრილი

φ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\cos \varphi$										
$\cos^2 \varphi$										
$I \mu A$										



ნახ.21

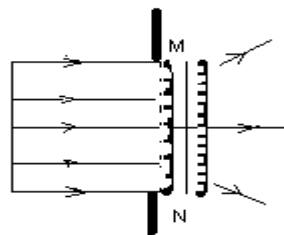
დავალება 10. ელექტრომაგნიტური ტალღების დიფრაქცია

დიფრაქცია ეწოდება ტალღის წრფივი გავრცელებიდან გადახრას ან უბრალოდ მის მიერ დაბრკოლების შემოვლას. დიფრაქცია – სუფთა ტალღური მოვლენაა. აღსანიშნავია, რომ დიფრაქციასა და ინტერფერენციას შორის არავითარი არსებითი ფიზიკური განსხვავება არ არსებობს. საქმე იმაშია, რომ თუ წყაროების რაოდენობა მცირეა (მაგალითად ორი), მაშინ ურთიერთქმედების შედეგს უფრო ხშირად ინტერფერენციას უწოდებენ, მრავალი წყაროს შემთხვევაში კი – დიფრაქციას.

დიფრაქციის მოვლენა მარტივად აიხსნება ჰიუგენს-ფრენელის პრინციპით. ეს პრინციპი ორი ნაწილისაგან შედგება. პირველი ნაწილი განსაზღვრავს ტალღის გავრცელებას (ჰიუგენსის პრინციპი), მეორე ნაწილი – ტალღის ინტენსივობას (ფრენელის პრინციპი). ეს პრინციპი ასე შეგვიძლია ჩამოვაყალიბოთ:

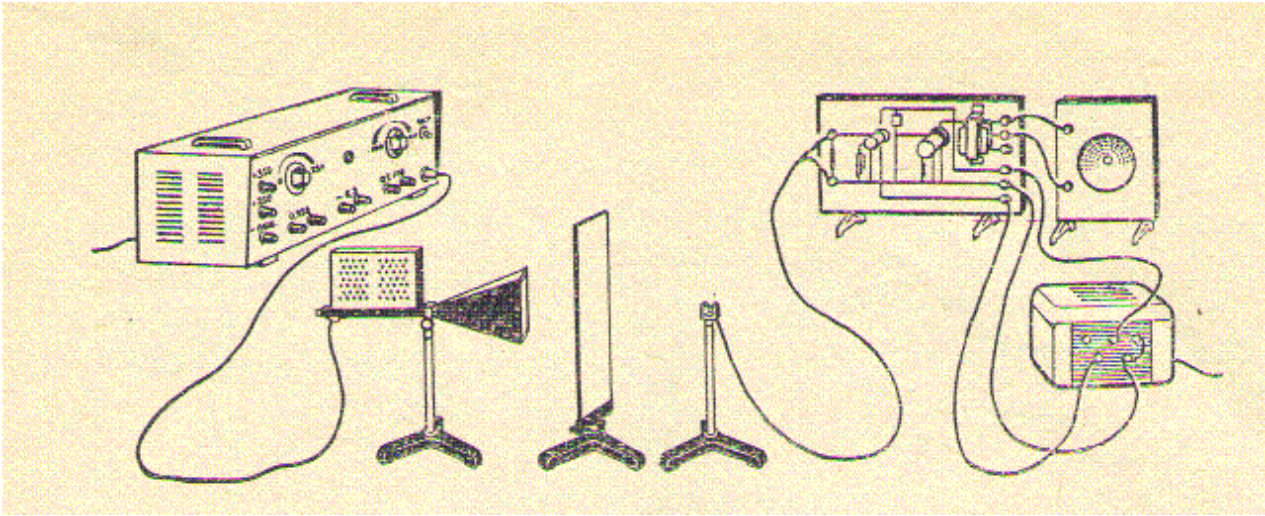
- I. დროის მოცემულ მომენტში ტალღური ზედაპირის ყველა წერტილი შეიძლება ჩავთვალოთ მეორადი ტალღების ელემენტალურ წყაროებად, ხოლო მათი მომვლები მოგვცემს დროის შემდგომ მომენტისათვის ტალღური ზედაპირის ახალ მდებარეობას.
- II. იმისათვის, რომ დავადგინოთ ტალღის ინტენსივობა ნებისმიერ წერტილში, უნდა შევკრიბოთ მეორადი წყაროებიდან მოსული ტალღები მათ შორის ფაზათა სხვაობის გათვალისწინებით.

განვიხილოთ შემდეგი მაგალითი. ვთქვათ ბრტყელი ტალღა ეცემა ვიწრო ხვრელს. ჰიუგენსის პრინციპის თანახმად ხვრელის ყველა წერტილი გახდება სინათლის მეორად წყაროდ და გამოასხივებს სფერულ ტალღებს. მათი მომვლები MN – მოგვცემს ტალღური ზედაპირის ახალ მდებარეობას. ამ პრინციპის მრავალჯერადი გამოყენებით ჩვენ დავადგენთ ტალღის გავრცელების მიმართულებას. (ნახ.22-ზე ეს პრინციპი 2-ჯერ არის გამოყენებული). როგორც ვხედავთ ტალღა შეიჭრა ჩრდილის არეში, გადაიხარა ანუ განიცადა დიფრაქცია.



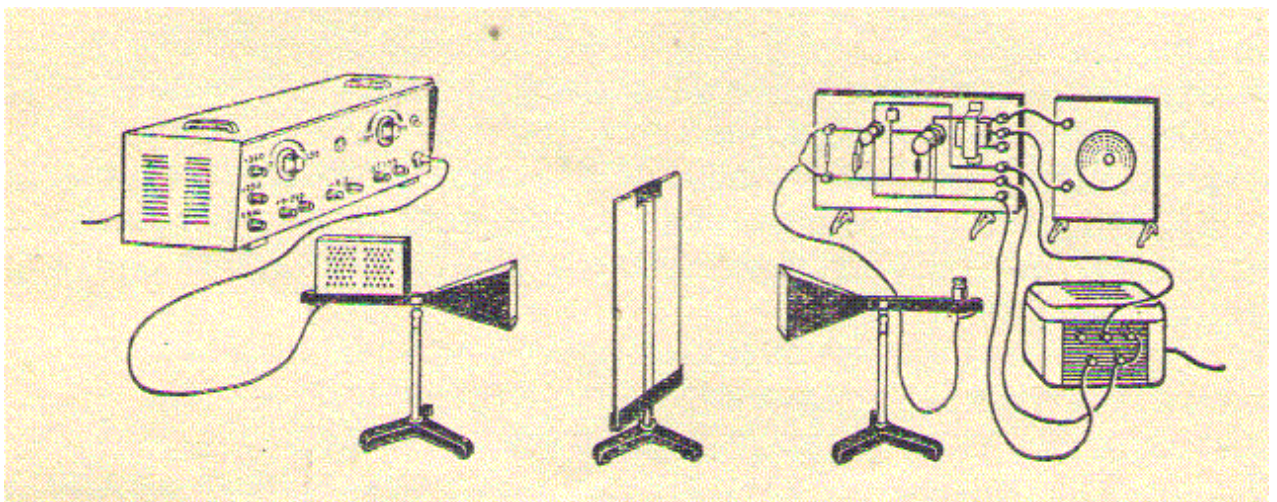
ნახ.22

დიფრაქციის მოვლენის დასაკვირვებლად:



ნახ.23

1. ერთმანეთისაგან 1 მ-ით დაშორებულ გადამცემ და მიმღებ რუპორულ ანტენებს შორის მოათავსეთ მეტალის ფართო ფირფიტა და დარწმუნდით სიგნალის არ არსებობაში.
2. ამოდრავეთ მიმღები ანტენა ფირფიტის უკან წრეხაზის რკალზე და დაადგინეთ მიახლოებითი არე სადაც არ ვრცელდება ელექტრომაგნიტური ტალღები.
3. იგივე ცდა გაიმეორეთ მიმღები დიპოლური ანტენის შემთხვევაში (ნახ.23).
4. დახაზეთ ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელების (ტალღების ჩრდილის) შესაბამისი სურათი.
5. მოათავსეთ გენერატორსა და მიმღებ ანტენას შორის ორი მეტალური ფირფიტა ისე რომ მათ შორის მანძილი იყოს ~ 3 სმ.



ნახ.24

6. ამოძრავით მიმდები ანტენა ფირფიტის უკან წრეხაზის რკალზე და დაადგინეთ მიახლოებითი არე სადაც ვრცელდება ელექტრომაგნიტური ტალღები.
7. მოძებნეთ წერტილები სადაც მიღებული სიგნალის ინტენსივობა მაქსიმალურია.
8. დახაზეთ ინტენსივობის მანძილზე დამოკიდებულების სურათი.
9. დააშორეთ ფირფიტები ~10-12 სმ მანძილზე და მათ შორის მოათავსეთ ვიწრო ფირფიტა (ნახ.8).
10. შეისწავლეთ დიფრაქციის მოვლენა ორი (თუ შესაძლებლობა იქნება სამი (ნახ.9)) ჭრილის შემთხვევაში.
11. დახაზეთ ინტენსივობის განაწილების შესაბამისი სურათი.

სარჩევი

თავი I

ელექტროსტატიკური ველის შესწავლა	3
დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობის ჰორიზონტალური მდგენელის განსაზღვრა	5
ოსცილოგრაფის შესწავლა	8
დავალება 1: ოსცილოგრაფის ვოლტური მგრძნობიარობის განსაზღვრა	13
დავალება 2: სინუსოიდალური სიგნალის გამოკვლევა.	15
დავალება 3: იმპულსური სიგნალის შესწავლა	17
დავალება 4: ლისაჟუს ფიგურების დაკვირვება	18
სოლენოიდის მაგნიტური ველის შესწავლა ჰოლის გადამწოდის საშუალებით	19
დავალება 1: სოლენოიდის ცენტრში მაგნიტური ველის ინდუქციის განსაზღვრა	22
დავალება 2: მაგნიტური ველის ინდუქციის Z კოორდინატზე დამოკიდებულების შესწავლა	23
მილეგადი რხევების შესწავლა რხევით კონტურში	24

დავალება I. რხევითი კონტურის ლოგარითმული დეკრემენტის და L, C, R პარამეტრების გაზომვა.	29
დავალება 2. ფაზური მრუდების შესწავლა.	31
იძულებითი რხევების შესწავლა	32
დავალება 1. რეზონანსული მრუდების აგება	38
დავალება 2. რეზონანსული სიხშირის ტევადობაზე დამოკიდებულების შესწავლა.	39
რელაქსაციური რხევების შესწავლა	40
დავალება 1: ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის აგება	45
დავალება 2: რელაქსაციური რხევების გენერატორის შესწავლა	46
ბმულ (დაკავშირებულ) კონტურებში ელექტრული რხევების შესწავლა	47
თავი II	
ელექტრომაგნიტური ტალღების თვისებების შესწავლა	53
დავალება 1. მიმართულების დიაგრამის აგება	58
დავალება 2. გამტარების მაკრანირებული მოქმედების დაკვირვება	59
დავალება 3. არეკვლის კანონის შემოწმება	60
დავალება 4. ჩაზნექილი სარკის შემკრები მოქმედების შესწავლა	61
დავალება 5. ელექტრომაგნიტური ტალღების გარდატეხის კანონის შემოწმება.	62
დავალება 6. შემკრები და გამბნევი ღინზების გამოკვლევა	63
დავალება 7. ელექტრომაგნიტური ტალღების ინტერფერენცია	64
დავალება 8. მდგრადი ტალღების მიღება	66
დავალება 9. ელექტრომაგნიტური ტალღების პოლარიზაცია	67
დავალება 10. ელექტრომაგნიტური ტალღების დიფრაქცია	69