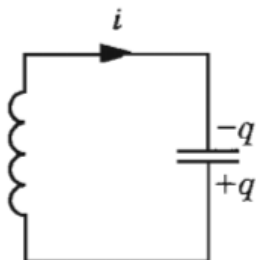


ავთანდილ შურღაია

ცვლადი დენი



მიმდევრობით ერთმანეთთან მიერთებული ინდუქციური კოჭა და დამუხტული კონდენსატორი წარმოადგენს რხევით კონტურს - წრედს, რომელშიც აღიძვრება ელექტრომაგნიტური რხევები. რხევის დინამიურ განტოლებას აქვს შემდეგი სახე:

$$\frac{d^2q}{dt^2} + \frac{1}{LC}q = 0. \quad (1)$$

აქ L არის კოჭას ინდუქტიობა, ხოლო C კონდენსატორის ტევადობა. ელექტრომაგნიტური რხევების ციკლური სიხშირეა

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}, \quad (2)$$

ხოლო პერიოდი

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad (3)$$

რომელიც ცნობილია ტომსონის ფორმულის სახელით. წრედში აღძრული რხევების ენერგია გამოითვლება ფორმულით:

$$W = \frac{LI^2}{2} + \frac{q^2}{2C}. \quad (4)$$

თუ შევადარებთ ელექტრომაგნიტურ რხევებს მექანიკურს, მაშინ კოორდინატის ანალოგიური ცვლადი იქნება ელექტრული მუხტი, ხოლო სიჩქარის - დენი. შესაბამისად კინეტიკურ ენერგიას შეესატყვისება კოჭას ენერგია, ხოლო პოტენციურ ენერგიას კონდენსატორის ენერგია.

(1) ფორმულით მოცემული განტოლება აღწერს მიუღწევად რხევებს, რომლის მიხედვით მუხტი და დენი წრედში იცვლება ჰარმონიული წესით:

$$q = q_0 \cos \omega_0 t, \quad I = -q_0 \omega_0 \sin \omega_0 t = I_0 \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}).$$

იძლეებითი ელექტრული რხევები აღიძვრება გამტარ ჩარჩოში, რომელიც ბრუნავს მუდმივ მაგნიტურ ველში. თუ ჩარჩოს ვაბრუნებთ მაგნიტურ ველში ω კუთხური სიჩქარით, მაშინ ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი შეიცვლება წესით:

$$\Phi = BS \cos \omega t,$$

ხოლო ჩარჩოში აღიძვრება ინდუქციის ე.მ.დ.:

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t, \quad \text{სადაც } \mathcal{E}_0 = BS\omega.$$

კოჭაში გამავალი დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი თვით ამ დენის პროპორციულია: $\Phi = LI$. თუ კოჭაში გამავალი დენი ცვლადია, მაშინ მაგნიტურ ინდუქციის ნაკადიც იცვლება და კოჭაში აღიძვრება ინდუქციის ე.მ.დ. ამ მოვლენას თვითინდუქციას უწოდებენ. ამ დროს ინდუქციის ე.მ.დ. გამოითვლება ფორმულით:

$$\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}.$$

ცვლადი დენის სიმძლავრე განისაზღვრება ფორმულით

$$P = I_{\text{ეფ}} U_{\text{ეფ}} = \frac{I_0 U_0}{2},$$

სადაც I_0 და U_0 წარმოადგენენ დენის და ძაბვის ამპლიტუდებს წრედის უბანზე.

რხევითი კონტური: რხევით კონტურში ჩართული კონდენსატორის ფირფიტებს შორის მანძილი გაზარდეს ოთხჯერ. როგორ შეიცვლება რხევის პერიოდი?

კონდენსატორის ფირფიტებს შორის d მანძილის ოთხჯერ გაზრდით მისი ტევადობა ოთხჯერ შემცირდება, რადგან

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}.$$

შესაბამისად რხევის პერიოდი $T = 2\pi\sqrt{LC}$ შემცირდება ორჯერ.

ელექტრმაგნიტური რხევები: იპოვეთ დროის ის მომენტი, როდესაც რხევით კონტურში კონდენსატორის ელექტრული ენერგია უტოლდება კოჭას მაგნიტურ ენერგიას. ეს დრო გამოსახეთ პერიოდით.

პირობის თანახმად

$$\frac{LI^2}{2} = \frac{q^2}{2C}.$$

გავიხსენოთ, რომ

$$q = q_0 \cos \frac{2\pi}{T} t \quad \text{და} \quad I = -I_0 \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

ამიტომ

$$LI_0^2 \sin^2 \frac{2\pi}{T} t = \frac{q_0^2}{C} \cos^2 \frac{2\pi}{T} t,$$

საიდანაც ვღებულობთ

$$\sin^2 \frac{2\pi}{T} t = \cos^2 \frac{2\pi}{T} t,$$

რომლის ამოხსნაა

$$\frac{2\pi}{T} t = \frac{\pi}{4}.$$

აქედან $t = T/8$. გავიხსენოთ, რომ მექანიკურ მიუღვევად რხევებში კინეტიკური ენერგია უტოლდება პოტენციურ ენერგიას მინიმუმ პერიოდის მერვედი დროის შემდეგ.

დენი რხევით კონტურში: განსაზღვრეთ დენის ძალის მნიშვნელობა რხევით კონტურში დროის იმ მომენტში, როდესაც კოჭას მაგნიტური ველის ენერგია ორჯერ ნაკლებია კონდენსატორის ენერგიაზე, თუ დენის ამპლიტუდა უდრის 0.25ა.

რხევით კონტურში აღძრული ელექტრომაგნიტური რხევების სრული ენერგია

$$W = W_{\text{ვლ}} + W_{\text{მავ}}.$$

პირობის თანახმად $W_{\text{ვლ}} = 2W_{\text{მავ}}$. ამიტომ $W = 3W_{\text{მავ}}$. მეორეს მხრივ სრული ენერგია ტოლია მაქსიმალური მაგნიტური ენერგიის (რხევა მიუღვევადია და სრული ენერგია მუდმივი სიდიდეა). ამის გათვალისწინებით გვექნება

$$\frac{L I_0^2}{2} = \frac{3LI^2}{2},$$

საიდანაც მივიღებთ

$$I = \frac{I_0}{\sqrt{3}} = 0.14\text{ა}.$$

მაგნიტურ ველში მბრუნავი გამტარი ჩარჩო: სპილენძისგან დამზადებული ხვიებისგან შემდგარი კვადრატული გამტარი ჩარჩო, რომლის ხვიის ფართობია $S = 625\text{სმ}^2$, ბრუნავს $B = 0.01\text{ტლ}$ ინდუქციის მქონე ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში ჩარჩოს სიბრტყეში მდებარე ღერძის გარშემო $n = 20\text{წმ}^{-1}$ სიხშირით. განსაზღვრეთ რამდენით შეიცვლება გამტარის ტემპერატურა $t =$

1წთ-ის განმავლობაში. სპილენძის კუთრი წინაღობა $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8}$ ომი მ, კუთრი სითბოტევადობა $c = 378$ ჯ/კგ კელ და სიმკვრივე $\rho_0 = 8.8 \cdot 10^3$ კგ/მ³. სითბოს ცვლა გარემოსთან უგულებელყავით.

ინდუქციური დენი, რომელიც აღიძვრება მაგნიტურ ველში მბრუნავ გამტარში, ცხადია გამტარს ათბობს. ტემპერატურის ცვლილება გამოითვლება ფორმულით:

$$\Delta T = \frac{Pt}{cm},$$

სადაც P არის ინდუქციური დენის სიმძლავრე და

$$P = \frac{\mathcal{E}_{\text{ფვ}}^2}{R} = \frac{\mathcal{E}_0^2}{2R}.$$

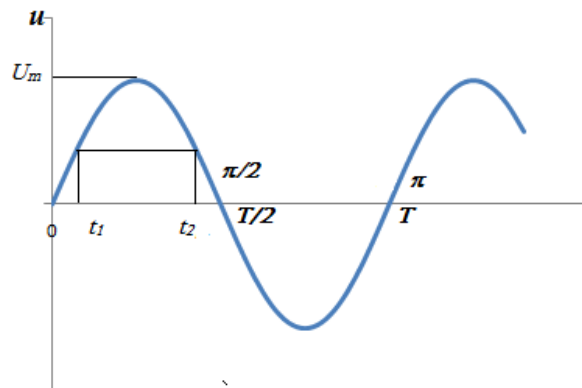
აქ $\mathcal{E}_0 = BS\omega N = 2\pi nBSN$, N არის ხვიების რიცხვი. გამტარის წინაღობა ტოლია

$$R = \rho \frac{l}{s}.$$

რომელშიც გამტარის სიგრძე $l = 4\sqrt{SN}$, ხოლო s არის გამტარის განივკვეთის ფართობი. გამტარის მასას გამოვთვლით სიმკვრივის მეშვეობით: $m = \rho_0 sl = 4\rho_0 s\sqrt{SN}$. ყველა ფორმულის გაერთიანებით მივიღებთ:

$$\Delta T = \frac{n\pi^2 B^2 S t}{8\rho \rho_0 c} = 3.24^\circ\text{C}.$$

ნათურა ცვლადი დენის წრედში: ნეონის ნათურა ჩართულია ცვლადი დენის წრედში, რომლის ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა $U_{\text{ეფ}} = 120$ ვ. განსაზღვრეთ ნეონის ნათურას ნათების ხანგრძლივობა პირველ ნახევარპერიოდში, თუ ნათურა ინთება და ქრება $U = 85$ ვ ძაბვაზე. ძაბვის რხევის პერიოდი უდრის $T = 0.06$ წმ.



ნეონის ნათურა პირობის თანახმად ანთებული იქნება დროის იმ შუალედში, რომლისთვისაც ძაბვა აკმაყოფილებს პირობას $U \geq 85$ ვ. ძაბვის ცვლილების გრაფიკი წარმოადგენს სინუსოიდას. საძიებელი დრო $\Delta t = t_2 - t_1$, ხოლო დროის მომენტები t_2 და t_1 მოიძებნება განტოლებიდან

$$U = U_0 \sin \frac{2\pi}{T} t.$$

ძაბვის ამპლიტუდა $U_0 = \sqrt{2}U_{\text{ეფ}}$. რიცხვითი მნიშვნელობების ჩასმის შემდეგ მივიღებთ განტოლებას

$$\sin \frac{2\pi}{T} t = \frac{1}{2},$$

რომლის ამოხსნები პირველ ნახევარ პერიოდში იქნება

$$\frac{2\pi}{T} t_1 = \frac{\pi}{6} \rightarrow t_1 = \frac{T}{12},$$

$$\frac{2\pi}{T} t_2 = \frac{5\pi}{6} \rightarrow t_2 = \frac{5T}{12}.$$

საძიებელი დროისთვის მივიღებთ

$$\Delta t = \frac{T}{3} = 0.0268.$$

მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი რხევით კონტურში: რხევით კონტურში ძაბვის ამპლიტუდა $U_0 = 1.2$ ვ. კოჭას ინდუქტივობა $L = 5$ მკჰნ, ხოლო კონდენსატორის ტევადობა $C = 13330$ პფ. იპოვეთ დენის ძალის ეფექტური მნიშვნელობა და გამოთვალეთ ინდუქციის მაქსიმალური ნაკადი კოჭაში. წრედის აქტიური წინაღობა უგულებელყავით.

ძალის ეფექტური მნიშვნელობის გამოსათვლელად ვისარგებლოთ ფორმულით $I_{\text{ეფ}} = I_0/\sqrt{2}$ და ფაქტით, რომ კოჭას მაქსიმალური მაგნიტური ენერგია ტოლია კონდენსატორის მაქსიმალური ელექტრული ენერჯიის:

$$\frac{LI_0^2}{2} = \frac{CU_0^2}{2}.$$

მარტივი გარდაქმნებით დენის ეფექტური მნიშვნელობისთვის მივიღებთ

$$I_{\text{ეფ}} = U_0 \sqrt{C/2L} = 44 \text{ მა}.$$

მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი, როგორც ცნობილია, დენი პირდაპირპროპორციულია. ამიტომ მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა იქნება

$$\Phi = LI_0 = U_0 \sqrt{C/L} = 1.1 \cdot 10^{-8} \text{ ვბ}.$$

