

|               |  |
|---------------|--|
| ფაცულტეტი     | საინჟინრო ტექნიკური  |
| დეპარტამენტი  | ენერგეტიკისა და ტელეკომუნიკაციის                           |
| სპეციალობა    | ელექტრული ინჟინერია ჯვ. 6B211-23, 6B212-23                 |
| საგანი        | ტექნიკური ელექტრომექანიკისა და ელექტროდინამიკის საფუძვლები |
| პედაგოგი      | ზ. მარდალეიშვილი   |
| გამოცდის სახე | დასკვნითი  |
| სემესტრი      | სწავლების მე-5 სემესტრი                                    |

|    | შეკითხვის, დავალების, საკითხის ან ტესტის<br>შინაარსი                                   | ტესტის შემთხვევაში ჩაწერეთ წერტილით გამოყოფილი პასუხები  |
|----|--|--|
| 1. | დანაკარგები მაგნიტურ სისტემაში ანუ ეგრეთწოდებული უქმი სვლის დანაკარგები,<br>შედგებიან: | გრიგალურ დენებზე და ჰისტერეზისზე დანაკარგებისაგან, რომლებიც წარმოიშვება ფოლადის გულანაში მთავარი მაგნიტური ნაკადის, დროის მიხედვით ცვალებადობის პროცესში. გრიგალურ დენებზე დანაკარგებისაგან, რომლებიც წარმოიშვება ფოლადის გულანაში მთავარი მაგნიტური ნაკადის, დროის მიხედვით ცვალებადობის პროცესში. ჰისტერეზისზე დანაკარგებისაგან, რომლებიც წარმოიშვება ფოლადის გულანაში მთავარი მაგნიტური ნაკადის, დროის მიხედვით ცვალებადობის პროცესში.  |
| 2. | დანაკარგები მაგნიტურ სისტემაში ანუ ეგრეთწოდებული უქმი სვლის დანაკარგები:               | დაახლოებით პროპორციულია ინდუქციის კვადრატისა. პროპორციულია დენის ძალის კვადრატისა. პროპორციულია წინაღობის კვადრატისა.  |
| 3. | დატვირთვის დანაკარგები ანუ ეგრეთწოდებული მოკლედ შერთვის დანაკარგები:                   | ამ ჯგუფში ძირითად დანაკარგებს წარმოადგენს გრაგნილებში და გამომყვანებში ჯოულის დანაკარგები. ამავე ჯგუფს ეკუთვნის დამატებითი დანაკარგები გრაგნილებში, გამომყვანებში, ავზის კედლებში, გულანაში რომლებიც განპირობებულია ფანტვის ველით. ძირითად დანაკარგებს წარმოადგენს გრაგნილებში და გამომყვანებში ჯოულის დანაკარგები, დანაკარგები გამომყვანებში, ავზის კედლებში, რომლებიც განპირობებულია ფანტვის ველით. ამ ჯგუფში ძირითად დანაკარგებს წარმოადგენს გრაგნილებში და გამომყვანებში ჯოულის დანაკარგები, ამავე ჯგუფს ეკუთვნის დამატებითი დანაკარგები გულანაში რომლებიც განპირობებულია ფანტვის ველით. |

|    |  |  |
|----|--|--|
| 4. | <p>ტრანსფორმატორის გულანას დამაგნიტების ღროს, მთავარი მაგნიტური ნაკადი დამამაგნიტებელ ძალასთან დაკავშირებულია შემდეგი ფორმულით:</p> <p>( სადაც <math>B</math> და <math>H</math> — გულანაში არეს ინდუქცია და დაძაბულობაა, <math>S_c</math>-გულანის აქტიური კვეთია, <math>L</math>-ინდუქციურობა)</p> | $F = BS_c = \mu\mu_0 HS_{c\perp}$ $F = B/S_c = \mu\mu_0 H/S_c .$ $F = H/S_c = \mu\mu_0 H/S_c .$ $F = BL S_c = \mu\mu_0 HLS_c .$  |
| 5. | <p>ტრანსფორმატორის ინდუქციურობა მოკლედ შერთვისას წარმოადგენს ფანტვის ინდუქციურობას, რომელიც შეიძლება განისაზღვროს ფანტვის მაგნიტური არეს ენერგიის გამოსახულებიდან:</p>   | $W = \frac{Li^2}{2} = \frac{1}{2} \int BH dV_{\perp}$ $W = \frac{i^2}{2L} = \frac{1}{2} \int BH dV .$ $W = \frac{L}{2i^2} = \frac{1}{2} \int BH dV .$  |
| 6. | <p>სამგრავნილიანი ტრანსფორმატორისათვის, თუ გრავნილი 1 მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან, ხოლო გრავნილებთან 2 და 3 მიერთებულია დატვირთები, მაშინ პირველი გრავნილისათვის შეიძლება დავწეროთ ე. მ. ძ.-ის შემდეგი განტოლება:</p>   | $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + M_{13} \frac{di_3}{dt} + i_1 r_{1\perp}$ $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + M_{13} \frac{di_3}{dt} .$ $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} + i_1 r_1 .$ $u_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + M_{13} \frac{di_3}{dt} + i_1 r_1 .$     |
| 7. | <p>სამგრავნილიანი ტრანსფორმატორისათვის, თუ გრავნილი 1 მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან, ხოლო გრავნილებთან 2 და 3 მიერთებულია დატვირთები, მაშინ მეორე გრავნილისათვის შეიძლება დავწეროთ ე. მ. ძ.-ის შემდეგი განტოლება:</p>   | $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{21} \frac{di_1}{dt} - M_{23} \frac{di_3}{dt} - i_2 r_{2\perp}$ $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{21} \frac{di_1}{dt} - M_{23} \frac{di_3}{dt} .$ $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{21} \frac{di_1}{dt} - i_2 r_2 .$ $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{23} \frac{di_3}{dt} - i_2 r_2 .$ |

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 8.  | სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორისათვის, თუ გრაგნილი 1 მიერთებულია ცვლადი დენის წყაროსთან, ხოლო გრაგნილებთა 2 და 3 მიერთებულია დატვირთები, მაშინ მესამე გრაგნილისათვის შეიძლება დავწეროთ ე. მ. ძ.-ის შემდეგი განტოლება: | $u_3 = -L_3 \frac{di_3}{dt} - M_{32} \frac{di_3}{dt} - M_{31} \frac{di_1}{dt} - i_3 r_{3-}$ $u_3 = -L_3 \frac{di_3}{dt} - M_{32} \frac{di_3}{dt} - M_{31} \frac{di_1}{dt} .$ $u_3 = -L_3 \frac{di_3}{dt} - M_{32} \frac{di_3}{dt} - i_3 r_3 .$ $u_3 = -L_3 \frac{di_3}{dt} - M_{31} \frac{di_1}{dt} - i_3 r_3 .$   |
| 9.  | სამგრაგნილიან ტრანსფორმატორში ძაბვის ვარდნის რეაქტიული მდგენელი დამოკიდებულია:  | საკუთარ ინდუქციურობაზე, გრაგნილების განსახილველი წყვილის ურთიერთ ინდუქციურობაზე, თითოეული გრაგნილის და მესამე გრაგნილის ურთიერთ ინდუქციურობაზე, გრაგნილების განსახილველი წყვილის ურთიერთ ინდუქციურობაზე, თითოეული გრაგნილის და მესამე გრაგნილის ურთიერთ ინდუქციურობაზე. საკუთარ ინდუქციურობაზე, თითოეული გრაგნილის და მესამე გრაგნილის ურთიერთ ინდუქციურობაზე.   |
| 10. | ავტოტრანსფორმატორში მაგნიტური არეს საშუალებით გადაეცემა სიმძლავრე:  | $P_\varphi = k\varphi I_1(\omega_1 - \omega_2) = k\varphi I_{12}\omega_{2-}$ $P_\varphi = k\varphi I_1(\omega_1 + \omega_2) = k\varphi I_{12}\omega_2 .$ $P_\varphi = k\varphi I_1 L(\omega_1 - \omega_2) = k\varphi I_{12} L\omega_2 .$   |
| 11. | ავტოტრანსფორმატორი შეგვიძლია განვიხილოთ როგორც:   | ერთგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი, რომელიც როგორც წესი კონსტრუქციულად სრულდება ორი გრაგნილის სახით, რომლებიც შემდეგ ელექტრულად ერთდება. ორგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი, რომელიც როგორც წესი კონსტრუქციულად სრულდება ორი გრაგნილის სახით, რომლებიც შემდეგ ელექტრულად ერთდება. სამგრაგნილიანი ტრანსფორმატორი, რომელიც როგორც წესი კონსტრუქციულად სრულდება ორი გრაგნილის სახით, რომლებიც შემდეგ ელექტრულად ერთდება. |
| 12. | თუ სამფაზა ტრანსფორმატორში გამოვრთავთ ერთ ფაზას, მაშინ გრაგნილების შეერთების სქემის მიხედვით დარჩენილი ორი ფაზა ქმნის:  | „ღია სამკუთხედს“ ან „ორსხივიან ვარსკვლავს“. მხოლოდ „ღია სამკუთხედს“. მხოლოდ „ორსხივიან ვარსკვლავს“.  |
| 13. | ტრანსფორმატორების ნორმალური პარალელური მუშაობისათვის საჭიროა:   | ტრანსფორმატორების პირეელადი და მეორადი ნომინალური ძაბვების ტოლობა; გრაგნილების შეერთების ჯგუფების იგივეობა; მოკლედ შერთვის ძაბვების ტოლობა. ტრანსფორმატორების პირეელადი და მეორადი ნომინალური ძაბვების ტოლობა; გრაგნილების შეერთების ჯგუფების იგივეობა. ტრანსფორმატორების პირეელადი და მეორადი ნომინალური ძაბვების ტოლობა; მოკლედ შერთვის ძაბვების ტოლობა.   |
| 14. | დატვირთვის რყევის დრო., ქსელის საქირო ძაბვის შენარჩუნების მიზნით, ტრანსფორმატორებში   | რეგულირება დამატებით გამომყვანების საშუალებით; რეგულირება გადამრთველის ხაშუალებით; ძაბვის რეგულირება დატვირთვის ქვეშ   |

|     |  |  |
|-----|--|--|
|     | გათვალისწინებულია მეორადი ძაბვის რეგულირების შესაძლებლობა. არსებობს ასეთი რეგულირების საშუალებების რიგი:   | <u>იანსენის სქემით; სქემა დენშემზღვავი რეაქტორით; დამატებითი ტრანსფორმატორები; ნორისის რეგულატორი; კოხი და შტერცელის ფირმის რეგულატორი.</u> რეგულირება დამატებით გამომყვანების საშუალებით; ძაბვის რეგულირება დატვირთვის ქვეშ იანსენის სქემით; სქემა დენშემზღვავი რეაქტორით; დამატებითი ტრანსფორმატორები; ნორისის რეგულატორი; კოხი და შტერცელის ფირმის რეგულატორი. რეგულირება დამატებით გამომყვანების საშუალებით; რეგულირება გადამრთველის ხაშუალებით; ძაბვის რეგულირება დატვირთვის ქვეშ იანსენის სქემით; სქემა დენშემზღვავი რეაქტორით; კოხი და შტერცელის ფირმის რეგულატორი. |
| 15. | ტრანსფორმატორის მოკლედ შერთვის რეჟიმის გამოსაკვლევად გამოიყენება ტრანსფორმატორის ძირითადი დიფერენციალური განტოლებები, რომლებიც ამ შემთხვევაში ჩაიწერება შემდეგი სახით: | $L_1 \frac{dI_1}{dt} + M_{12} \frac{dI_2}{dt} + i_1 r_1 = u_1; L_2 \frac{dI_2}{dt} + M_{12} \frac{dI_1}{dt} + i_2 r_2 = 0.$<br>$L_1 \frac{dI_1}{dt} - M_{12} \frac{dI_2}{dt} - i_1 r_1 = u_1; L_2 \frac{dI_2}{dt} + M_{12} \frac{dI_1}{dt} + i_2 r_2 = 0.$<br>$L_1 \frac{dI_1}{dt} + M_{12} \frac{dI_2}{dt} + i_1 r_1 = u_1; L_2 \frac{dI_2}{dt} - M_{12} \frac{dI_1}{dt} - i_2 r_2 = 0.$<br>$L_1 \frac{dI_1}{dt} - M_{12} \frac{dI_2}{dt} - i_1 r_1 = u_1; L_2 \frac{dI_2}{dt} - M_{12} \frac{dI_1}{dt} - i_2 r_2 = 0.$   |
| 16. | ტრანსფორმატორის გრაგნილებს შიგნით გადაძვებისაგან დაცვის საშუალებებია:  | <u>გრაგნილი შესავალი კოჭების გაძლიერებული იზოლაციით; ტევადური რგოლი; შემტანი გრაგნილის შუაში; გრაგნილის ფორმის შეცვლა; არამარეზონირებელი ტრანსფორმატორი; მეხმდგრალი ტრანსფორმატორი.</u> ტევადური რგოლი; შემტანი გრაგნილის შუაში; გრაგნილის ფორმის შეცვლა; არამარეზონირებელი ტრანსფორმატორი; მეხმდგრალი ტრანსფორმატორი. გრაგნილი შესავალი კოჭების გაძლიერებული იზოლაციით; არამარეზონირებელი ტრანსფორმატორი; მეხმდგრალი ტრანსფორმატორი.  |
| 17. | სპეციალურ ტრანსფორმატორებს განეკუთვნება:   | <u>სამფაზა დენის ტრანსფორმირება ორფაზად; ტრანსფორმატორები ელექტროდუმელებისათვის; ტრანსფორმატორები რკალური ელექტროშედულებისათვის; სიხშირის გამსამებელი ტრანსფორმატორები; კასკადური სქემები.</u> ტრანსფორმატორები ელექტროდუმელებისათვის; ტრანსფორმატორები რკალური ელექტროშედულებისათვის; სიხშირის გამსამებელი ტრანსფორმატორები; კასკადური სქემები. სამფაზა დენის ტრანსფორმირება ორფაზად; ტრანსფორმატორები  |

|     |  |   |
|-----|--|---|
|     |  | ელექტროლუმელებისათვის; ტრანსფორმატორები რკალური ელექტროშედულებისათვის; კასკადური სქემები.   |
| 18. | მუდმივი დენის გენერატორის ღუზის მომჭერებზე წარმოქმნილი ძაბვა გამოითვლება ფორმულით:                                     | $U_\delta = E_\delta - I_{\varphi\beta} R_{\varphi\beta}$ $U_\delta = E_\delta + I_{\varphi\beta} R_\delta .$ $U_\delta = I_{\varphi\beta} R_\delta .$  |
| 19. | მუდმივი დენის გენერატორის გარე მახასიათებლის გამოსახულება უკუკავშირიანი სისტემისათვის ჩაიწერება შემდეგი სახით:         | $U_\delta = \frac{K_b}{K_{\varphi\beta}(1+K_b)} U_{\varphi\beta} - \frac{I_{\varphi\beta} R_\delta}{1+K_b} ..$ $U_\delta = \frac{K_b}{K_{\varphi\beta}(1+K_b)} - \frac{I_{\varphi\beta} R_\delta}{1+K_b} .$ $U_\delta = \frac{K_b}{K_{\varphi\beta}(1+K_b)} U_{\varphi\beta} .$ |
| 20. | ელექტროამძრავის უკუკავშირიანი სისტემის მექანიკური მახასიათებელი გამოითვლება ფორმულით:                                  | $\omega = \frac{K}{K_{\varphi\beta}(1+K)} U_{\varphi} - \frac{MR_{\varphi\beta}}{c_\delta^2(1+K)} .$ $\omega = \frac{K}{K_{\varphi\beta}(1+K)} - \frac{MR_{\varphi\beta}}{c_\delta^2(1+K)}$ $\omega = \frac{K}{K_{\varphi\beta}(1+K)} U_{\varphi} ..$                           |
| 21. | მუდმივი დენის აგზნების წრედის ძაბვების წონასწორობის დიფერენციალური განტოლება ჩაიწერება შემდეგი სახით:                  | $U_{s\beta} = L \frac{dI_{s\beta}}{dt} + R_{s\beta} I_{s\beta} .$ $U_{s\beta} = I_{s\beta} \frac{dL}{dt} + R_{s\beta} I_{s\beta} ..$ $U_{s\beta} = I_{s\beta} \frac{dL}{dt} .$  |
| 22. | მუდმივი დენის გენერატორის გადამცემი ფუნქცია, როდესაც იგი მუშაობს დამაგნიტების მრუდის წრფივ უბანზე, ჩაიწერება ფორმულით: | $W(p) = \frac{K_\delta}{T_{s\beta} p + 1} ..$ $W(p) = \frac{K_\delta}{T_{s\beta} + 1} ..$ $W(p) = \frac{K_\delta}{p + 1} ..$  |

|     |  |  |
|-----|--|--|
|     |  |  |
| 23. | <p>როდესაც განიხილება ტრანსფორმატორის მუშაობა ფოლადის გულარას გავლენის გათვალისწინების გარეშე გარეშე, ე. ი. ვთვლით, რომ მაგნიტურ ნაკადებსა და მათ შემემნელ დენებს შორის არსებობს სწორხაზოვანი დამოკიდებულება და ფოლადში დანაკარგები არ არის, მაშინ ტრანსფორმატორის პირველადი წრედისათვის დიფერენციალური განტოლება ჩაიწერება:</p> | $u_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{13} \frac{di_2}{dt} = i_1 r_{1z}$ $u_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{13} \frac{di_2}{dt} = 0 .$ $u_1 - L_1 \frac{di_1}{dt} - M_{13} = i_1 r_1 .$ $u_1 - M_{13} \frac{di_2}{dt} = i_1 r_1 .$ |
| 24. | <p>როდესაც განიხილება ტრანსფორმატორის მუშაობა ფოლადის გულარას გავლენის გათვალისწინების გარეშე გარეშე, ე. ი. ვთვლით, რომ მაგნიტურ ნაკადებსა და მათ შემემნელ დენებს შორის არსებობს სწორხაზოვანი დამოკიდებულება და ფოლადში დანაკარგები არ არის, მაშინ ტრანსფორმატორის მეორადი წრედისათვის დიფერენციალური განტოლება ჩაიწერება:</p>   | $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{31} \frac{di_1}{dt} - i_2 r_{2z}$ $u_2 = -M_{31} \frac{di_1}{dt} - i_2 r_2 .$ $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - i_2 r_2 .$ $u_2 = -L_2 \frac{di_2}{dt} - M_{31} \frac{di_1}{dt} .$          |
| 25. | <p>როდესაც ტრანსფორმატორის კვება ხდება პირველადი გრაგნილიდან, რეზულტატური დამამაგნიტებელი ძალა შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც პირველად გრაგნილში გამავალი დამამაგნიტებელი დენი <math>i_0</math> გამრავლებული <math>\omega_1</math> ხვიათა რიცხეზე, რომელიც გამოითვლება ფორმულით:</p>  | $i_0 \omega_1 = i_1 \omega_1 + i_2 \omega_{2z}$ $i_0 \omega_1 = i_1 \omega_1 - i_2 \omega_2 .$ $i_0 \omega_1 = i_1 \omega_1 + \omega_2 .$ $i_0 \omega_1 = \omega_1 + i_2 \omega_2 .$                                     |
| 26. | თვითინდუქციის ემდ გამოითვლება ფორმულით:  | $\mathcal{E} = -L \frac{dI}{dt}$ $\mathcal{E} = -L \frac{dB}{dt}$ $\mathcal{E} = -L \frac{dF}{dt}$ $\mathcal{E} = -L \frac{dH}{dt}$  |

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 27. | სოლენიდში მაგნიტური ველის ენერგია<br>გამოითვლება ფორმულით:   | $W_M = 0,5BHV.$<br>$W_M = 0,5FHV.$<br>$W_M = 0,5BLV.$<br>$W_M = 0,5BHL.$  |
| 28. | დამაგნიტების ვექტორი გამოითვლება ფორმულით:   | $\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (\vec{P}_{Am})_{i..}$<br>$\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (IB)_{i..}$<br>$\vec{M} = (\Delta V)^{-1} \sum_{i=1}^N (BH_m)_{i..}$   |
| 29. | ჩაკეტილ კონტურზე ელექტრული ველის<br>დაძაბულობის ცირკულაცია ტოლია:  | $\oint E_l dl = -\frac{d\phi}{dt}.$<br>$\oint B dl = -\frac{d\phi}{dt}.$<br>$\oint H_l dl = -\frac{d\phi}{dt}.$<br>$\oint E_l dl = -\frac{dB}{dt}.$   |
| 30. | წანაცვლების დენის სიმკვრივის ვექტორი<br>გამოითვლება ფორმულით:  | $\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dt}.$<br>$\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dx}.$<br>$\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dy}.$<br>$\vec{i} = \frac{d\vec{D}}{dz}.$  |
| 31. | ძრავას ლილვიდან მუშა მანქანისათვის<br>გადაცემული მთელი სიმძლავრე, როდესაც<br>ინერციის მომენტი ცვლადი სიდიდეა,<br>გამოითვლება ფორმულით: | $P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt}.$<br>$P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + m\rho^2.$<br>$P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + M\omega. .$<br>$P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + m\omega^2. .$                                |
| 32. | მოძრაობის ძირითადი განტოლება, როდესაც<br>ინერციის მომენტი ცვლადი სიდიდეა, ჩაიწერება<br>ფორმულით:                                       | $M = M_{b\varnothing} + M_{\varphi} = M_{b\varnothing} + J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}. .$<br>$M = M_{b\varnothing} + M_{\varphi} = M_{b\varnothing} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}. .$<br>$M = M_{b\varnothing} + M_{\varphi} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}. .$<br>$M = M_{b\varnothing} + M_{\varphi} = M_{b\varnothing} + J \frac{d\omega}{dt}.$ |

|     |   |  |
|-----|---|--|
| 33. | მოძრაობის ძირითადი განტოლება, როდესაც ინერციის მომენტი მუდმივი სიდიდეა, ჩაიწერება ფორმულით:   | $M = M_{b\dot{\vartheta} b\dot{\vartheta}} + M_{\varphi \varphi} = M_{b\dot{\vartheta} b\dot{\vartheta}} + J \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}.$ $M = M_{b\dot{\vartheta}} + M_{\varphi} = M_{b\dot{\vartheta}} + J \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}.$ $M = M_{b\dot{\vartheta}} + M_{\varphi} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}.$ $M = M_{b\dot{\vartheta}} + M_{\varphi} = M_{b\dot{\vartheta}} + J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \frac{dJ}{dt}.$ |
| 34. | ელექტრომექანიკური ამძრავის კუთხური აჩქარება გამოითვლება ფორმულით:   | $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_{b\dot{\vartheta}}}{J},$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M}{J},$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M + M_{b\dot{\vartheta}}}{J},$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{M - M_{b\dot{\vartheta}}}{J}.$   |
| 35. | წრფივად მოძრავი მექანიზმებისათვის, როდესაც მოძრავი ელემენტის მასა მუდმივი სიდიდეა, მოძრაობის ძირითადი განტოლება გამოისახება ფორმულით: | $F = F_{b\dot{\vartheta}} + F_{\varphi} = F_{b\dot{\vartheta}} + m \frac{dv}{dt},$ $F = F_{b\dot{\vartheta}} + F_{\varphi} = F_{b\dot{\vartheta}} + v \frac{dm}{dt},$ $F = F_{b\dot{\vartheta}} + F_{\varphi} = m \frac{dv}{dt},$ $F = F_{b\dot{\vartheta}} - F_{\varphi} = F_{b\dot{\vartheta}} - m \frac{dv}{dt}.$   |
| 36. | დრეკადი ელემენტით შეერთებული ორმასიანი სისტემის მოძრაობის ძირითადი განტოლება $m_1$ მასის ამძრავი ბორბლისათვის გამოისახება ფორმულით:   | $m_1 \frac{d^2x}{dt^2} = F - F_{b\dot{\vartheta} b\dot{\vartheta}} = F - C(X - Y),$ $m_1 \frac{d^2x}{dt^2} = F + F_{b\dot{\vartheta}} = F + C(X - Y),$ $m_1 \frac{d^2x}{dt^2} = F + F_{b\dot{\vartheta}} = F + C(X + Y),$ $m_1 \frac{d^2x}{dt^2} = F + F_{b\dot{\vartheta}} = C(X - Y).$   |
| 37. | დრეკადი ელემენტით შეერთებული ორმასიანი სისტემის მოძრაობის ძირითადი განტოლება $m_2$ მასის ტვირთისათვის გამოისახება ფორმულით:           | $m_2 \frac{d^2y}{dt^2} = F_{\varphi \varphi} - F_{b\dot{\vartheta} b\dot{\vartheta}} = C(X - Y) - m_2 g,$ $m_2 \frac{d^2y}{dt^2} = F_{\varphi \varphi} + F_{b\dot{\vartheta}} = C(X - Y) - m_2 g,$ $m_2 \frac{d^2y}{dt^2} = F_{\varphi \varphi} + F_{b\dot{\vartheta}} = C(X - Y) + m_2 g,$ $m_2 \frac{d^2y}{dt^2} = F_{\varphi \varphi} - F_{b\dot{\vartheta}} = m_2 g.$  |

|     |   |   |
|-----|---|---|
|     |   |   |
| 38. | დრეკადი ელემენტით შეერთებული ორმასიანი სისტემა კონსერვატულია, როდესაც სამართლიანია განტოლება:                           | $\frac{d^2\Delta}{dt^2} + \omega^2\Delta = \frac{F}{m_1} + \frac{F_{b\vartheta}}{m_2},$ $\frac{d^2\Delta}{dt^2} = \frac{F}{m_1} + \frac{F_{b\vartheta}}{m_2}.$ $\omega^2\Delta = \frac{F}{m_1} + \frac{F_{b\vartheta}}{m_2}.$ $\frac{d^2\Delta}{dt^2} - \omega^2\Delta = \frac{F}{m_1} - \frac{F_{b\vartheta}}{m_2}.$   |
| 39. | ელექტროამძრავების ამუშავების დროის ხანგრძლივობა გამოითვლება ფორმულით:   | $t_{s\vartheta} = \int_0^{\omega_{b\vartheta} b\vartheta} J \frac{d\omega}{M + M_{b\vartheta} b\vartheta},$ $t_{s\vartheta} = \int_0^{\omega_{b\vartheta}} J \frac{d\omega}{M + M_{b\vartheta}},$ $t_{s\vartheta} = \int_0^{\omega_{b\vartheta}} J \frac{d\omega}{M},$ $t_{s\vartheta} = \int_0^{\omega_{b\vartheta}} J \frac{d\omega}{M_{b\vartheta}}.$                                  |
| 40. | მუდმივი დენის დამოუკიდებელ აგზნებიანი ძრავის ელექტრომექანიკური მახასიათებლის ანალიზური გამოსახულება ჩაიწერება ფორმულით: | $\omega = \frac{K - I_{\varphi} R_{\varphi}}{K\varphi} = \frac{U}{C} - \frac{R_{\varphi}}{C} I_{\varphi},$ $\omega = \frac{K + I_{\varphi} R_{\varphi}}{K\varphi} = \frac{U}{C} + \frac{R_{\varphi}}{C} I_{\varphi},$ $\omega = \frac{K - I_{\varphi} R_{\varphi}}{K\varphi} = \frac{R_{\varphi}}{C} I_{\varphi},$ $\omega = \frac{K - I_{\varphi} R_{\varphi}}{K\varphi} = \frac{U}{C}.$ |

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 41. | <p>მუმივი დენის ძრავას ელექტრომაგნიტური მომენტი განისაზღვრება ფორმულით:</p>  | $M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_R = K\Phi I_R = CI_R..$ $M = \frac{pN}{2\pi a} I_R = KI_R = CI_R..$ $M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi = K\Phi = CI_R..$ $M = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_R = I_R = CI_R..$   |
| 42. | <p>ასინქრონული ძრავისათვის, ძრავაში გამავალი დენი, დამაგნიტების დენის გაუთვალისწინებლად, ტოლია სტატორის გრაგნილზე დაყვანილი როტორის დენის და გამოითვლება ფორმულით:</p> | $I_1 \approx I_2 = \frac{U_{\beta}}{Z} = \frac{U_{\beta}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 + X_{\partial\beta}^2}}..$ $I_1 \approx I_2 = \frac{U_{\beta}}{Z} = \frac{U_{\beta}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S}\right)^2 - X_{\partial\beta}^2}}..$ $I_1 \approx I_2 = \frac{U_{\beta}}{Z} = \frac{U_{\beta}}{\sqrt{\left(R_1 - \frac{R_2}{S}\right)^2 - X_{\partial\beta}^2}}..$ $I_1 \approx I_2 = \frac{U_{\beta}}{Z} = \frac{U_{\beta}}{\sqrt{\left(R_1 - \frac{R_2}{S}\right)^2 + X_{\partial\beta}^2}}..$ |
| 43. | <p>ასინქრონული ძრავის მაქსიმალური მომენტი გამოითვლება ფორმულით:</p>  | $M_{\beta\beta} = \frac{3U_{\beta}^2}{2\omega_0 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\partial\beta}^2} \right)}..$ $M_{\beta\beta} = \frac{3U_{\beta}^2}{2\omega_0 \left( R_1 - \sqrt{R_1^2 + X_{\partial\beta}^2} \right)}..$ $M_{\beta\beta} = \frac{3U_{\beta}^2}{2 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\partial\beta}^2} \right)}..$ $M_{\beta\beta} = \frac{U_{\beta}^2}{\omega_0 \left( R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + X_{\partial\beta}^2} \right)}..$   |

|     |  |   |
|-----|--|---|
| 44. | <p>ასინქრონული ძრავის მექანიკური მახასიათებლის განტოლება:</p>  | $M = \frac{3U_B^2 R_2'}{\omega_0 S \left[ \left( R_1 + \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{\partial\beta}^2 \right]}.$ $M = \frac{3U_B^2 R_2'}{\omega_0 S \left[ \left( R_1 - \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{\partial\beta}^2 \right]}.$ $M = \frac{U_B^2 R_2'}{\omega_0 S \left[ \left( R_1 - \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{\partial\beta}^2 \right]}.$ $M = \frac{3U_B^2}{\omega_0 S \left[ \left( R_1 - \frac{R_2'}{S} \right)^2 + X_{\partial\beta}^2 \right]}.$ |
| 45. | <p>ძრავას ლილვიდან მუშა მანქანისათვის გადაცემული მთელი სიმძლავრე, როდესაც ინერციის მომენტი ცვლადი სიდიდეა, გამოითვლება ფორმულით:</p> | $P_{\varphi_{\varphi}} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt},$ $P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + m\rho^2.$ $P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + M\omega. .$ $P_{\varphi} = J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{dt} + m\omega^2. .$   |

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 46. | <p>ინდუქციურ პოტენციალთა სხვაობა:</p> <p>თვითმფრინავი, რომლის ფრთების გაშლის სიგრძეა <math>l = 20\text{მ}</math>, მიფრინავს ჩრდილოეთის მიმართულებით <math>960\text{კმ/სთ}</math> სიჩქარით და სიმაღლეზე, სადაც დედამიწის მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგენელია <math>6 \cdot 10^{-5}\text{T}</math>. განსაზღვრეთ პოტენციალთა სხვაობა ფრთების ბოლოებზე. რომელ ფრთაზე მეტი პოტენციალი?</p>   | <p>მოც: <math>l = 20\text{ მ}</math></p> $\nu = \cancel{960} \frac{\partial}{\cancel{l\sin\theta}} = 960 \cdot \frac{5}{18} = \frac{800}{3} \text{ გ/წ/მ}$ $B = \cancel{6 \cdot 10^{-5} \text{ ტლ}}$ <hr/> <p>ვიპოვოთ პოტენციალთა სხვაობა:</p> $\mathcal{E} = Bvl \sin \theta = 6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{800}{3} \cdot 20 \cdot \sin 90^\circ = 0.32 \text{ ვ}$ <p>მეტი პოტენციალის მქონე ფრთის განსაზღვრად ვიყენებთ მარჯვენა ხელის წესს. ხელი ისე მოვათავსათ, რომ მაგნიტური ველის ქვემოთ მიმართლი ვექტორი ხელის გულში შედიოდეს, ხოლო ცერა თითი მივმართოთ თვითმფრინავის მოძრაობის მიმართულებას. ამ შემთხვევაში, დენი მოძრაობს მარცხნივ, ე.ი. მარცხენა ფრთაზე დადგებითი მუხტი გროვდება, ამიტომაც მეტი პოტენციალიც მარცხენა ფრთაზეა.</p> <p>პასუხი: <math>0.32 \text{ ვ}</math>, მარცხენა ფრთა</p> |
| 47. | <p>ინდუქციური ელექტრული ველის დაძაბულობა: <math>r</math> რადიუსის მქონე წრიული გამტარი მოთავსებული მაგნიტურ ველში, რომელიც გამტარის სიბრტყის მართობულია. მაგნიტური ველი იცვლება კანონით <math>B = kt</math>. განსაზღვრეთ ინდუქციური ელექტრული ველის დაძაბულობის სიდიდე.</p>   | $\Phi = B \cdot S$ $S = \pi r^2, \quad B = kt$ $\Phi = (kt) \cdot (\pi r^2)$ $\varepsilon = \left  \frac{d\Phi}{dt} \right  = \frac{d}{dt} (k \cdot t \cdot \pi r^2) = k\pi r^2 \cdot \frac{dt}{dt} = k\pi r^2$ $\varepsilon = E \cdot 2\pi r$ $E \cdot 2\pi r = k\pi r^2$ $E = \frac{k\pi r^2}{2\pi r} = \frac{kr}{2}$   |
| 48. | <p>დენი სოლენოიდში: <math>l = 1\text{მ}</math> სიგრძის და <math>d = 10\text{ სმ}</math> დიამტერის სოლენოიდში, რომლის ხვიათა რიცხვი <math>N = 2000</math>, გადის <math>I = 1\text{ ა}</math> დენი. სოლენოიდს თანაბრად ჭიმავენ <math>n = 40\text{მ/წმ}</math> სიჩქარით. ამავე დროს სოლენოიდის ბოლოებზე მოდებული ძაბვა იცვლება ისე, რომ დენი გამტარში არ იცვლება. რისი ტოლი იქნება პოტენციალთა სხვაობის ცვლილება მაშინ, როდესაც სოლენოიდის სიგრძე ორჯერ გაიზრდება. დიამეტრის ცვლილება უგულებელყავით.</p> | <p>მოც: <math>l = 1\text{ მ}</math></p> $d = 10 \text{ სმ} = 0.1 \text{ მ}$ $N = 2000$ $I = 1 \text{ ა}$ $\nu = 40 \frac{\partial}{\cancel{\pi d}}$ <hr/> $L(I) = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$ $\lambda = LI$ $U = \frac{d\lambda}{dt} = L \frac{dI}{dt} + I \frac{dL}{dt} = 0 + I \frac{dL}{dt} = I \frac{dL}{dt}$   |

|     |   |
|-----|---|
|     | $\frac{dL}{dt} = -\frac{\mu_0 N^2 S}{l^2} \frac{dl}{dt} = -\frac{L}{I} v$ $U = I \frac{dL}{dl} = -I \frac{\mu_0 N^2 S v}{l^2}$ <p>ვინაიდან ძაბვა უკუპრობორციულია სოლენოიდის სიგრძის კვადრატისა, მისი სიგრძის ორჯერ გაზრდის შემდეგ ძაბვა ოთხჯერ შემცირდება.</p> $U_{\text{საბოლოო}} = \frac{1}{4} U_{\text{საწყისი}}$ <p>ვიპოვოთ საწყისი ძაბვა:</p> $S = \pi r^2, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{3}{\partial}, \quad r = \frac{d}{2}$ $U_{\text{საწ}} = -I \frac{\mu_0 N^2 \pi r^2 v}{l^2} = -\frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000^2 \cdot \pi \cdot \left(\frac{0.1}{2}\right)^2 \cdot 40}{1^2} = -0.16\pi^2 3$ $U_{\text{საბ}} = \frac{-0.16\pi^2}{4} = -0.04\pi^2 3$ <p>ვიპოვოთ პოტენციალთა სხვაობა:</p> $\Delta U = U_{\text{საბ}} - U_{\text{საწ}} = -0.04\pi - (-0.16\pi) = 0.12\pi^2 = 0.12 \cdot 3.14^2 = 1.18 3$ |
| 49. | <p>კვადრატული გამტარი ჩარჩო მუდმივ მაგნიტურ ველში: კვადრატული გამტარი ჩარჩო ზომებით <math>L \times L</math> მოძრაობს მუდმივი <math>v</math> სიჩქარით და შედის მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის, რომლის მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდეა <math>B</math>. ჩარჩოს სიბრტყე და სიჩქარე ველის მართობულია. განსაზღვრეთ დენი გამტარში. აღწერეთ ჩარჩოს მოძრაობა მაგნიტურ ველში. გამოთვალეთ აღძრული დენის სიმძლავრე.</p>  |
| 50. | <p>ფარადეის დისკო: გამტარი დისკო ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო მუდმივი კუთხური სიჩქარით მუდმივ მაგნიტურ ველში, რომელიც დისკოს ზედაპირის მართობულია. განსაზღვრეთ პოტენციალთა სხვაობა დისკოს ცენტრსა და დისკოს შემომსაზღვრელი წრეწირის რომელიმე წერტილს შორის.</p>  |

|     |  |  |
|-----|--|--|
| 51. | რხევით კონტურში ელექტრომაგნიტური რხევები, რხევის დინამიკური განტოლება, ტომსონის ფორმულა, წრედში აღმრული რხევების ენერგია, მუხტის და დენის ძალის ჰარმონიული ცვლილების განტოლებები. იძულებითი ელექტრული რხევები.   |  |
| 52. | ელექტრომაგნიტური რხევები: იპოვეთ დროის ის მომენტი, როდესაც რხევით კონტურში კონდენსატორის ელექტრული ენერგია უტოლდება კოჭას მაგნიტურ ენერგიას. ეს დრო გამოსახეთ პერიოდით.  |  |
| 53. | 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 $0.25\text{a}$ .   |  |
| 54. | 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 $n = 20\text{წ}^{-1}$ სიხშირით. განსაზღვრეთ რამდენით შეიცვლება გამტარის ტემპერატურა $t = 1\text{წ}-\text{ის}$ განმავლობაში. სპილენძის კუთრი წინაღობა $\rho = 1.7 \cdot 10 - 8 \text{ ომ.მ, კუთრი სითბოტევადობა } c = 378 \frac{\text{ჯ}}{\text{კგ}}$ კელ და სიმკვრივე $\rho_0 = 8.8 \cdot 10 3 \text{ კგ/მ}^3$ . სითბოს ცვლა გარემოსთან უგულებელყავით. |  |
| 55. | ნათურა ცვლადი დენის წრედში: ნეონის ნათურა ჩართულია ცვლადი დენის წრედში, რომლის ძაბვის ეფექტური მნიშვნელობა $U_{ეფ} = 120\text{ვ}$ . განსაზღვრეთ ნეონის ნათურას ნათების ხანგრძლივობა პირველ ნახევარპერიოდში, თუ   |  |

|     |  |  |
|-----|--|--|
|     | ნათურა ინთება და ქრება $U = 85$ ძაბვაზე. ძაბვის რხევის პერიოდი უდრის $T = 0.06$ წ.   |  |
| 56. | მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი რხევით კონტურში: რხევით კონტურში ძაბვის ამპლიტუდა $U_0 = 1.2$ . კოჭას ინდუქტივობა $L = 5\text{мкн}$ , ხოლო კონდენსატორის ტევადობა $C = 13330\text{пФ}$ . იპოვეთ დენის ძალის ეფექტური მნიშვნელობა და გამოთვალეთ ინდუქციის მაქსიმალური ნაკადი კოჭაში. წრედის აქტიური წინაღობა უგულებელყავით.  |  |
| 57. | მობრუნების კუთხე: $B = 0.1\text{Тл}$ ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია ბრტყელი მართკუთხა ჩარჩო, რომლის ფართობია $S = 10.3 \text{ см}^2$ , ხოლო წინაღობა $R = 2\text{омი}$ . ჩარჩოს სიბრტყე ველის მართობულია. ხვიაში ჩართულია გალვანომეტრი. ჩარჩოს მობრუნებისას მასში გაიარა $q = 7.5 \cdot 10^{-3}$ კ მუხტმა. იპოვეთ ჩარჩოს მობრუნების კუთხე.  |  |
| 58. | რეოსტატზე გამოყოფილი სიმძლავრე: $B = 1 \text{ Тл}$ ინდუქციის მქონე მაგნიტური ველის მართობულად მოთავსებულია ლითონის წრიული დისკო, რომლის რადიუსია $r = 10\text{см}$ . დისკო ბრუნავს ცენტრზე გამავალი ღერძის გარშემო $n = 100\text{წ-}^{-1}$ სიხშირით. დისკო ორი კონტაქტით (ერთი ცენტრზე, ხოლო მეორე დისკოს კიდეზე გამავალი) შეერთებულია $R = 5\text{омი}$ წინაღობის მქონე რეოსტატან. იპოვეთ რეოსტატზე გამოყოფილი სიმძლავრე. |  |
| 59. | კოჭაში ჩადგმული კოჭა: $20\text{см}$ სიგრძის და $1000$ ხვიის მქონე კოჭაში ჩადგმულია $2\text{см}$ . დიამეტრის და $200$ ხვიის მქონე კოჭა. თუ დენი დიდ სოლენოიდში  |  |

|     |   |  |
|-----|---|--|
|     | იცვლება 150ა/წმ სისწრაფით, რისი ტოლი იქნება პატარა კოჭაში აღძრული ინდუქციის ე.მ.ძ.?   |  |
| 60. | პოტენციალთა სხვაობა გამტარის ბოლოებზე:<br>რეაქტიული თვითმფრინავი, რომლის ფრთების გაშლი სიგრძეა 50მ, ჰორიზონტალურად მიფრინავს 800კმ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ფრთების ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ დედამიწის მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგენელი ტოლია $B = 5 \cdot 10^{-5}$ ტლ. შეიძლება თუ არა ამ პოტენციალთა სხვაობით თვითმფრინავის სიჩქარის განსაზღვრა? |  |

...

**შენიშვნა** საკითხების ცხრილის ბოლო სვეტი ივსება შემდეგნაირად საკითხს მიეწერება 1,2,3, ... რიცხვები. რაც ნიშნავს, რომ იქმნება შესწავლილი თემების პირობითი ჯგუფები. ბილეთის ფორმირებისას პედაგოგს შეუძლია შეარჩიოს ბილეთში შემავალი საკითხების რაოდენობა და გაანაწილოს იგი სხვადასხვა ჯგუფების მიხედვით. იხილეთ მესამე ცხრილის განმარტება.

| 1 | 2  | 3 |
|---|----|---|
| 5 | 10 | 5 |

**შენიშვნა** ცხრილის პირველი სტრიქონი ნიშნავს, რომ მაგალითად, საგამოცდო საკითხებში პირველი, მეორე, მესამე და ა.შ. ჯგუფის ან სირთულის დავალებებია. ცხრილის მეორე სტრიქონი ნიშნავს, რომ პირველი ჯგუფიდან (სირთულიდან) ბილეთში შევა 1, მეორე ჯგუფიდან 3 და მესამედან 3 საკითხი (დავალება, ტესტი) და ა. შ.

ფაკულტეტის დეკანი \_\_\_\_\_  
 დეპარტამენტის კოორდინატორი \_\_\_\_\_  
 საგნის პედაგოგი \_\_\_\_\_

## ავთანდილ შურლაია

### ფიზიკა ამოცანებში

#### ცვლადი დენი და ელექტრომაგნიტური ინდუქცია

ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის თანახმად, გამტარით შემოსაზღვრული ფართობის გამჭოლი მაგნიტურ ინდუქციის ნაკადის ცვლილების დროს გამტარში აღიძვრება ინდუქციის ემდ, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}.$$

მინუს ნიშანი განსაზღვრული ლენცის წესის თანახმად, რომლის მიხედვით აღმრული ინდუქციური დენი მიმართულება ისეთია, რომ მის მიერ შექმნილი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილება ეწინააღმდეგება ამ დენის შემქმნელი მაგნიტური ველის ინდუქციის ნაკადის ცვლილებას. აქ უნდა განვასხვავოთ ორი შემთხვევა. მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი შეიძლება შეიცვალოს, თუ მოძრაობს ჩარჩო მუდმივ მაგნიტურ ველში გარკვეული სიჩქარით. ამ დროს გამტარის ბოლოებზე აღმრული პოტენციალთა სხვაობის მიზეზი არის დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ლორენცის ძალა, რომელიც გამტარში მუხტების განცალკევებას იწვევს. მსგავსი შედეგი დგება მაშინაც, როდესაც გამტარი უძრავია, მაგრამ მაგნიტური ველი იცვლება დროში. ეს კი თვისობრივად განსხვავებული მოვლენაა, რაც მდგომარეობს იმაში, რომ ცვლადი მაგნიტური ველი აღმრავს ცვლად ელექტრულ ველს (სწორედ ეს იყო მნიშვნელოვანი და ახალი ამ მოვლენის აღმოჩენის დროს). მათემატიკურად ორივე შემთხვევა აღიწერება ზემოთ მოტანილი ფორმულით, რომელშიც მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი განიმარტება როგორც მაგნიტური ველის და გამტარით შემოფარგლული ზედაპირის ფართობის ნამრავლი ამ ზედაპირის ნორმალსა და მაგნიტური ველის მიმართულებას შორის კუთხის კოსინუსზე:

$$\phi = BS \cos \alpha.$$

46

ინდუქციურ პოტენციალთა სხვაობა: თვითმფრინავი, რომლის ფრთების გაშლის სიგრძეა  $l = 20\text{მ}$ , მიფრინავს ჩრდილოეთის მიმართულებით  $960\text{კმ/სთ}$  სიჩქარით და სიმაღლეზე, სადაც დედამიწის მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგენელია  $6 \cdot 10^{-5}\text{T}$ . განსაზღვრეთ პოტენციალთა სხვაობა ფრთების ბოლოებზე. რომელ ფრთაზეა მეტი პოტენციალი?

ამოცანა:

თვითმფრინავის ელექტრონებზე მოქმედებს ლორენცის ძალა, რადგან ისინი თვითმფრინავთან ერთად მოწესრიგებულად მოძრაობენ მაგნიტურ ველში მის მართობულად. ინდუქციურ პოტენციალთა სხვაობა ფრთების ბოლოებზე გამოითვლება ფორმულით:

$$\text{მუქ: } l = 20\text{მ}$$

$$V = 960 \cdot 58/10 = 96 \cdot 0 \cdot \frac{5}{18} = \frac{800}{3}\text{მთვ}$$

$$B = 6 \cdot 10^{-5}\text{T}$$

$$U = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}.$$

თვითმფრინავი მოძრაობს მუდმივ მაგნიტურ ველში და მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილება გამოვცეულია იმ ფართობის ცვლილებით, რომელსაც მაგნიტური ველის ძალწირები განჭოლავენ:  $\Delta S / \Delta t$ . ამიტომ

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = B \frac{\Delta S}{\Delta t} = Bvl.$$

ამრიგად

$$U = -Bvl = 1.07 \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{800}{3} \cdot 20 = 0.323$$

მეორე მხრივ ლორენცის ძალია გავლენით ელექტრონები აღმოსავლეთის მიმართულებით ამოძრავდებიან (მარჯვენა ხელის წესის თანაბმად) და ეს გაგრძელდება მანამდე, ვიდრე ლორენცის ძალის მუშაობა არ გაუტოლდება ელექტრონების მიერ შექმნილი ელექტრული ველის მუშაობას, ანუ

$$qU = -qBvl.$$

ნიშანი მინუსი მიუთითებს, რომ ელექტრონების მოძრაობის მიმართულებით პოტენციალი მცირდება. ეს ნიშნავს, რომ აღმოსავლეთის მხარეს ფრთის წვერს ყველაზე დაბალი პოტენციალი აქვს.

47

**ინდუქციური ელექტრული ველის დამაბულობა:**  $r$  რადიუსის მქონე წრიული გამტარი მოთავსებული მაგნიტურ ველში, რომელიც გამტარის სიბრტყის მართობულია. მაგნიტური ველი იცვლება კანონით  $B = kt$ . განსაზღვრეთ ინდუქციური ელექტრული ველის დამაბულობის სიდიდე.

ამოსნა

ინდუქციის ემდ სიდიდე გამოითვლება ფორმულით

$$\mathcal{E}_i = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = k\pi r^2.$$

მეორეს მხრივ ემდ ტოლია გამტარში ერთეული დადებით მუხტის გადადგილებაზე შესრულებული მუშაობის

$$\mathcal{E}_i = \frac{F \cdot 2\pi r}{q} = \frac{qE \cdot 2\pi r}{q} = 2\pi rE.$$

ორივე ფორმულის გაერთიანებით მივიღებთ:

$$E = \frac{kr}{2}.$$

48

**დენი სოლენოიდში:**  $l = 1\text{m}$  სიგრძის და  $d = 10\text{ cm}$  სმ დიამტერის სოლენოიდში, რომლის ხვიათა რიცხვი  $N = 2000$ , გადის  $I = 1\text{A}$  დენი. სოლენოიდს თანაბრად ჭიმავენ  $v = 40\text{m}/\text{s}$  სიჩქარით. ამავე დროს სოლენოიდის ბოლოებზე მოდებული ძაბვა იცვლება ისე, რომ დენი გამტარში არ

იცვლება. რისი ტოლი იქნება პოტენციალთა სხვაობის ცვლილება მაშინ, როდესაც სოლენოიდის სიგრძე ორჯერ გაიზრდება. დიამეტრის ცვლილება უგულებელყავით.

## აძლევები

განმარტების თანახმად, მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი სოლენოიდში  $\phi = NBS$ , სადაც  $B$  არის მაგნიტური ველის ინდუქცია, ხოლო  $S$  ხვის განვივეთის ფართობი. სოლენოიდის მაგნიტური ინდუქციის სიდიდე ტოლია

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}.$$

ამრიგად,

$$\phi = \frac{\mu_0 N^2 IS}{l}.$$

$$\delta\phi_i: l=1\text{m}$$

$$d=10\text{cm}=0,1\text{m}$$

$$N=2000$$

$$I=1\text{A}$$

$$\phi=40\text{mT}$$

ამოცანის პირობის თანახმად, დენი სოლენოიდში მუდმივია და მაშასადამე მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი იცვლება სოლენოიდის გეომეტრიის ცვლილების, ანუ სიგრძის ცვლილების გამო (დიამეტრი უცვლელია).

სოლენოიდის სიგრძე იცვლება წესით  $l = l_0 + vt$ . ნაკადის ცვლილების სისწრაფის სიდიდე იქნება

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\mu_0 N^2 IS}{\Delta t} \left( \frac{1}{l_0 + vt} - \frac{1}{l_0 + v(t + \Delta t)} \right).$$

თუ  $\Delta t$  უსასრულოდ მცირეა ( $\Delta t \rightarrow 0$ ), მაშინ

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\mu_0 N^2 ISv}{(l_0 + vt)^2}. \quad (\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7})$$

სოლენოიდის სიგრძე გაიზრდება ორჯერ  $t_0$  დროში, რომელიც გამოითვლება ფორმულით

$$l_0 + vt_0 = 2l_0 \Rightarrow t_0 = \frac{l_0}{v}.$$

დროის ამ მომენტისთვის

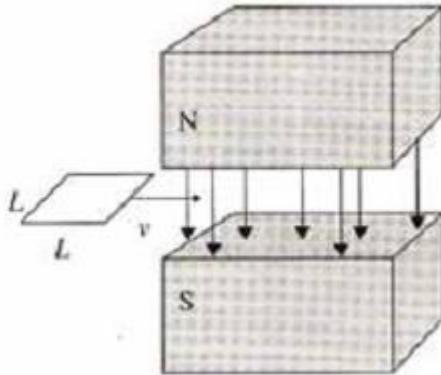
$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{\mu_0 N^2 ISv}{4l_0^2} = \frac{\mu_0 N^2 I\pi d^2 v}{16l_0^2} \approx 0,0043 = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2000^2 \cdot 1 \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot 10}{16 \cdot 1^2} = 0,393$$

სწორედ ეს სიდიდე განსაზღვრავს პოტენციალთა სხვაობის ცვლილებას სოლენოიდის ბოლოებზე დროის იმ მომენტისთვის, როდესაც მისი სიგრძე ორჯერ გაიზრდება.

 კვადრატული გამტარი ჩარჩო მუდმივ მაგნიტურ ველში: კვადრატული გამტარი ჩარჩო ზომებით  $L \times L$  მოძრაობს მუდმივი  $v$  სიჩქარით და შედის მუდმივი მაგნიტის პოლუსებს შორის, რომლის მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდეა  $B$ . ჩარჩოს სიბრტყე და სიჩქარე ველის

მართობულია. განსაზღვრეთ დენი გამტარში. აღწერეთ ჩარჩოს მოძრაობა მაგნიტურ ველში. გამოთვალეთ აღძრული დენის სიმძლავრე.

## სპოსენი



ნახ. 1

გამტარში გამავალი დენი ტოლი იქნება

$$I = \frac{\mathcal{E}_i}{R},$$

სადაც  $R$  არის გამტარის წინადობა, ხოლო  $\mathcal{E}_i$  გამტარში აღძრული ინდუქციის ემდ, რომელიც ტოლია

$$\mathcal{E}_i = BVL.$$

ლენცის წესის თანახმად, ეს დენი მიმართული იქნება საათის ისრის მოძრაობის საპირისპიროდ. ამიტომ ჩარჩოს მაგნიტურ ველში მყოფ გვერდზე მოქმედებს ძალა. რომელიც ეწინააღმდეგება ჩარჩოს მოძრაობას. ეს ძალა ტოლია

$$F = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R}.$$

ამიტომ, რომ შევინარჩუნოთ ჩარჩოს სიჩქარე, მასზე გარედან უნდა ვიმოქმედოთ ამ ძალის საპირისპირო და სიდიდით მისი ტოლი ძალით. ეს კი ნიშნავს, რომ ეს ძალა შეასრულებს მუშაობას. ცხადია, ეს მუშაობა არ იხარჯება ჩარჩოს კინეტიკური ენერგიის გაზრდაზე - მის ხარჯზე იზრდება გამტარის შინაგანი ენერგია და გამტარი თბება. ამ დროს გამომუშავებული სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$P = FV = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}.$$

მეორე მხრივ, გამტარში აღძრული დენის სიმძლავრე ტოლია

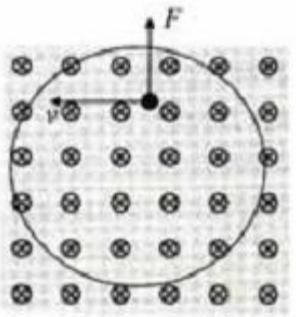
$$P = \mathcal{E}_i I = \frac{B^2 L^2 v^2}{R},$$

ეს ემთხვევა გარეშე ძალის მიერ გამომუშავებულ სიმძლავრეს და ეს ფაქტი გამოხატავს ენერგიის მუდმივობის კანონს.

50

**ფარადეის დისკო:** გამტარი დისკო ბრუნავს თავისი ღერძის გარშემო მუდმივი კუთხური სიჩქარით მუდმივ მაგნიტურ ველში, რომელიც დისკოს ზედაპირის მართობულია. განსაზღვრეთ პოტენციალთა სხვაობა დისკოს ცენტრსა და დისკოს შემომსაზღვრელი წრეწირის რომელიმე წერტილს შორის.

### უპო სასრ



ნახაზზე ჯვარი რგოლში ნიშნავს, რომ მაგნიტური ველის მალწირები შედიან სიბრტყეში მის მართობულად.  $F$  არის ძალა, რომლითაც მაგნიტური ველი მოქმედებს ელექტრონზე ცენტრიდან დისკოს რადიუსის  $r$  ტოლ მანძილზე. ეს ძალა ტოლია

$$F = evB.$$

აյ  $e$  არის ელექტრონის მუხტის სიდიდე,  $v$  მისი სიჩქარე, ხოლო  $B$  მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე. ამ ძალის მუშაობით შიძლება გამოვთვალოთ პოტენციალთა სხვაობა დისკოს ცენტრსა და მის შემომსაზღვრელ წრეწირს შორის (მოითხოვს პოტენციალთა სხვაობის გრადიენტის განხილვას). იგივე შედეგი შეიძლება მივიღოთ ელექტრომაგნიტური ინდუქციის კანონის გამოყენებით. კერძოდ, საძიებელი პოტენციალთა სხვაობის სიდიდე იქნება

$$U = \frac{\Delta\phi}{\Delta t},$$

რომელშიც მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილება განპირობებულია დისკოს ბრუნვის დროს რადიუსის მიერ შემოწერილი ფართობის ცვლილების სისწრფით:

$$U = B \frac{\Delta S}{\Delta t}.$$

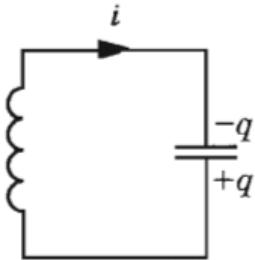
ფართობი  $S$  არის წრეწირის სექტორის ფართობი და იგი ტოლია

$$S = \frac{1}{2} R^2 \theta.$$

აյ  $\theta = \omega \Delta t$  არის დისკოს რადიუსის შემობრუნების კუთხი. მარტივი გარდაქმნებით მივიღებთ, რომ საძიებელი პოტენციალთა სხვაობის სიდიდე ტოლია:

$$U = \frac{1}{2} B R^2 \omega.$$

51



### ცვლადი დენი

მიმღევრობით 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 მიულევად რხევებს, რომლის მიხედვით მუხტი და დენი წრედში იცვლება ჰარმონიული წესით:

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

იძულებითი ელექტრული რხევები აღიძვრება გამტარ ჩარჩოში, რომელიც ბრუნავს მუდმივ მაგნიტურ ველში. თუ ჩარჩოს ვაძრუნებთ მაგნიტურ ველში ა კუთხერი 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.

52  
ს მოსწავლა  
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 მიულევად 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.

**ამოსაზე**  
რხევით კონტურში აღძრული ელექტრომაგნიტური რხევების სრული ენერგია

$$W = W_{\text{ელ}} + W_{\text{მაგ}}.$$

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

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

საიდანაც მივიღებთ

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

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

16თ-ის განმავლობაში. სპილენძის კუთრი წინაღობა  $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8}$  მ, კუთრი სითბოტევადობა  $c = 378$  კ/გ კელ და სიმკვრივე  $\rho_0 = 8.8 \cdot 10^3$  კგ/მ<sup>3</sup>. სითბოს ცვლა გარემოსთან უგულებელყავით.

### სურანი

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

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

სადაც  $P$  არის ინდუქციური დენის სიმძლავრე და

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

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

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

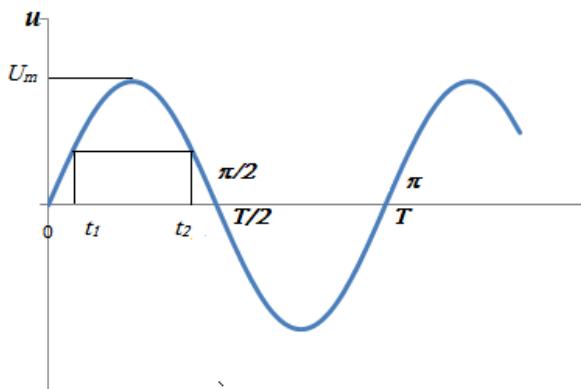
$$\begin{aligned} \text{მუ: } S &= 625 \text{ cm}^2 = 625 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ B &= 0,01 \text{ T} \\ h &= 20 \text{ m}^{-1} \\ t &= 10 \text{ s} = 60 \text{ წ} \\ \rho &= 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ მმ.გ} \\ c &= 378 \text{ კ/გ} \\ \rho_0 &= 8.8 \cdot 10^3 \text{ კ/მ}^3 \end{aligned}$$

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

$$\Delta T = \frac{n\pi^2 B^2 St}{8\rho \rho_0 c} = \cancel{3.24^\circ\text{C.}} = \frac{20^2 \cdot 3.14^2 \cdot 0.01^2 \cdot 625 \cdot 10^{-4} \cdot 60}{8 \cdot 1.7 \cdot 10^{-8} \cdot 8.8 \cdot 10^3 \cdot 378} = 3.27^\circ\text{C}$$

**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  $T = 0.06$ მ.

### სპოსი:



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

$$\begin{aligned} U_0 &= 120 \cdot \sqrt{2} = 170 \text{ ვ} \\ \rightarrow 85 &= 170 \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \rightarrow \sin \frac{2\pi}{T} t = \frac{85}{170} \rightarrow \sin \frac{2\pi}{T} t = \frac{1}{2}, \end{aligned}$$

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

$$\Delta t = \frac{T}{3} = 0.026\text{მ}.$$

**56**  
მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი რხევით კონტურში: რხევით კონტურში ძაბვის ამპლიტუდა  $U_0 = 1.2\text{ვ}$ . კოჭას ინდუქტივობა  $L = 5\text{მჰ}$ , ხოლო კონდენსატორის ტევადობა  $C = 13330\text{პფ}$ . იპოვეთ დენის ძალის ეფექტური მნიშვნელობა და გამოთვალეთ ინდუქციის მაქსიმალური ნაკადი კოჭაში. წრედის აქტიური წინაღობა უგულებელყავით.

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

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

$$I_{\text{ფ}} = 1,2 \cdot \sqrt{\frac{13330 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 5 \cdot 10^{-6}}} = 0,044 = 44\text{მა.}$$

მარტივი გარდაქმნებით დენის ეფექტური მნიშვნელობისთვის მივიღებთ

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

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

$$\text{მუკ! } U_0 = 1,2\text{ვ}$$

$$L = 5\text{მჰ} = 5 \cdot 10^{-6}\text{გბ}$$

$$C = 13330\text{ ფ} = 13330 \cdot 10^{-12}\text{ ფ}$$

$$\Phi = LI_0 = U_0 \sqrt{C/L} = 1,2 \cdot 10^{-8}\text{ ვბ.}$$

$$= 5 \cdot 10^{-6} \cdot 1,2 \cdot \sqrt{\frac{13330 \cdot 10^{-12}}{5 \cdot 10^{-6}}} = 3,1 \cdot 10^{-7}\text{ ვბ.}$$

$$\text{შეუ: } B = 1 \text{ Тс}$$

$$S = 10^3 \text{ см}^2 = 10^3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 0,1 \text{ м}^2$$

$$R = 2 \text{ мб}$$

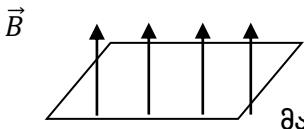
$$q = 7,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = ?$$

57

**მობრუნების კუთხე:**  $B = 0,1$  Тс ინდუქციის ერთგვაროვან მაგნიტურ ველში მოთავსებულია ბრტყელი მართვულია ჩარჩო, რომლის ფართობია  $S = 10^3$  см<sup>2</sup>, ხოლო წინაღობა  $R = 2$  мბი. ჩარჩოს სიბრტყე ველის მართობულია. ხვაში ჩართულია გალვანომეტრი. ჩარჩოს მობრუნებისას მასში გაიარა  $q = 7,5 \cdot 10^{-3}$  к მუხტმა. იპოვეთ ჩარჩოს მობრუნების კუთხე.

ამოგო:



ჩარჩოს მობრუნებისას რაღაც  $\alpha$  კუთხით, ჩარჩოში აღიძვრება ინდუქციის ე.მ.დ., რომლის სიდიდე ტოლია ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის ცვლილების სისწრაფის

$$\varepsilon = \frac{\Delta \phi}{\Delta t},$$

რომელშიც

$$\phi = BS \cos \alpha$$

არის ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი. მაგნიტური ველი არის ერთგვაროვანი, ხოლო ჩარჩოს ფართობი მუდმივია, ინდუქციის ე.მ.დ. აღიძვრება კუთხის ცვლილების გამო დროში. სასრულ დროში ინდუქციის ნაკადის ცვლილება იქნება

$$\Delta \phi = BS(1 - \cos \alpha) = 2BS \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

თუ გამოვიყენებთ ომის კანონს, მცირე გარდაქმნების შემდეგ მივიღებთ შემდეგ გამოსახულებას ა კუთხისთვის:

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{qR}{BS} = 0,87. \quad \alpha = 120^\circ.$$

**რეოსტატზე გამოყოფილი სიმძლავრე:**  $B = 1$  ტლინდუქციის მქონე მაგნიტური ველის მართობულად მოთავსებულია ლითონის წრიული დისკო, რომლის რადიუსია  $r = 10$  см. დისკო ბრუნავს ცენტრზე გამავალი ლერძის გარშემო  $n = 100$  Гз<sup>-1</sup> სიხშირით. დისკო ორი კონტაქტით (ერთი ცენტრზე, ხოლო მეორე დისკოს კიდეზე გამავალი) შეერთებულია  $R = 5$  мბი წინაღობის მქონე რეოსტატთან. იპოვეთ რეოსტატზე გამოყოფილი სიმძლავრე.

58

ა შოსხი,

$$\text{შეუ: } B = 1 \text{ Тс}$$

$$r = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$n = 100 \text{ Гз}^{-1}$$

$$R = 5 \text{ мб}$$

დისკოს ბრუნვის დროს დისკოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი იცვლება იმის გამო, რომ დროში იცვლება დისკოს  $L$  რკალით და რადიუსები შემოსაზღვრული წრიული სექტორის ფართობი. ფართობის ცვლილება იქნება

$$\Delta S = \frac{\Delta Lr}{2} = \frac{\Delta \varphi r^2}{2}.$$

ამიტომ წრედში აღძრული ინდუქციის ე.მ.დ. ტოლია

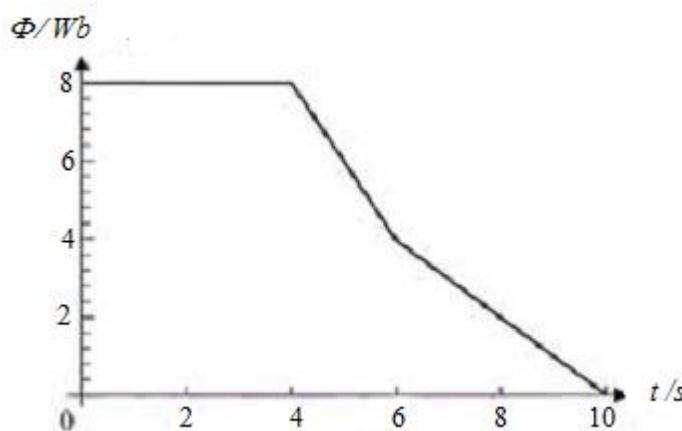
$$\mathcal{E} = \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = B \frac{r^2 \Delta \varphi}{2 \Delta t} = \frac{B \omega}{2} r^2 = B \pi n r^2.$$

აյ  $\omega = 2\pi n$  არის ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. რეოსტატზე გამოყოფილი სიმძლავრე ტოლი იქნება

$$P = \frac{\mathcal{E}^2}{R} = \frac{B^2 \pi^2 n^2 r^4}{R} = 1.963 \text{W}.$$


---

**ინდუქციის ე.მ.დ.:** ნახ. 1-ზე მოცემულია გამტარი ჩარჩოს გამჭოლი მაგნიტური ინდუქციის ნაკადის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. დახაზეთ ინდუქციის ე.მ.დ. როგორც დროზე დამოკიდებული სიდიდის გრაფიკი.



ნახ. 1

საძიებელი გრაფიკის დასახაზად საჭიროა, გავაანალიზოთ ინდუქციის ნაკადის დროზე დამოკიდებულების მოცემული გრაფიკი. რადგან ინდუქციის ე.მ.დ. ტოლია ინდუქციის ნაკადის ცვლილების სისწრაფე აღებული მინუს ნიშნით

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t},$$

იგი წარმოადგენს ნახაზზე მოცემული გრაფიკის მხები წრთვის დახრილობას დროის ნებისმიერ მომენტში. ნახაზიდან ვხედავთ, რომ პირველი ოთხი წამის განმავლობაში მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი მუდმივია, რაც ნიშნავს, რომ ამ დროს ინდუქციის ე.მ.დ. ნულის ტოლია, ოთხი წამიდან

X

დაწყებული ექვსი წამის ჩათვლით გრაფიკის დახრილობა ტოლია -4, ხოლო ექვსი წამიდან ათი წამის ჩათვლით იგი უდრის -1. ორივე ინტერვალში ინდუქციის ე.მ.დ. იქნება დადგებითი სიდიდე. ამ მონაცემებით საძიებელ გრაფიკს აქვს შემდეგი სახე.

X



X

კოჭაში ჩადგმული კოჭა: 20სმ სიგრძის და 1000 ხვიის მქონე კოჭაში ჩადგმულია 2სმ. დიამეტრის და 200 ხვიის მქონე კოჭა. თუ დენი დიდ სოლენოიდში იცვლება 150ა/ნმ სისწრაფით, რისი ტოლი იქნება პატარა კოჭაში აღძრული ინდუქციის ე.მ.დ.?

პრისტ

პირობის თანახმად დიდ კოჭაში გადის ცვლადი დენი. შესაბამისად ორივე კოჭას განჭოლავს დროში ცვლადი მაგნიტური ველი. მცირე კოჭაში აღძრული ინდუქციის ე.მ.დ. იქნება

$$\frac{N_1 I}{L} = 20 \text{ა} = 0.2 \text{მ}$$

$$N_1 = 1000$$

$$N_2 = 200$$

$$d = 2 \text{ს} = 0.2 \text{მ}$$

$$\varepsilon = ?$$

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \phi}{\Delta t}.$$

მცირე კოჭის გამჭოლი მაგნიტური ველის ინდუქცია კოჭაში მიმართულია კოჭას დერძის პარალელურად. მისი სიდიდე კი უდრის

$$B = \frac{\mu_0 N_1 I}{L}.$$

აյ N<sub>1</sub> არის დიდი კოჭას ხვიათა რიცხვი, I კოჭაში გამავალი დენი, L ამ კოჭას სიგრძე. მცირე კოჭას განჭოლავს მაგნიტური ინდუქციის ნაკადი

$$\phi = B S N_2,$$

სადაც S არის მცირე კოჭას ერთი ხვიის ფართობი, ხოლო N<sub>2</sub> კოჭაში ხვიათა რიცხვი. შესაბამისად საძიებელი ინდუქციის ე.მ.დ. ტოლია

$$\varepsilon = -\frac{\mu_0 N_1 N_2 \pi d^2}{4L} \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

თუ გავითვალისწინებთ, რომ  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ , მივიღებთ:  $\varepsilon = -0.06 \text{ვ}$ . მინუს ნიშანი მიუთითებს, რომ დენის მიმართულება მცირე კოჭაში დიდ კოჭაში გამავალი დენის საპირისპიროა.

$$\begin{aligned} \text{მუკ} & l = 50\text{მ} \\ & I = 800\text{A}/\text{მ} = 800\text{000 A/m} \\ & B = 5 \cdot 10^{-5} \text{Т} \end{aligned}$$

60

**პოტენციალთა სხვაობა გამტარის ბოლოებზე:** რეაქტიული თვითმფრინავი, რომლის ფრთების გაშლი სიგრძეა 50მ, ჰორიზონტალურად მიღრინავს 800კმ/წმ სიჩქარით. განსაზღვრეთ ფრთების ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ დედამინის მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგრენელი ტოლია  $B = 5 \cdot 10^{-5}$  ტლ. შეიძლება თუ არა ამ პოტენციალთა სხვაობით თვითმფრინავის სიჩქარის განსაზღვრა?

კუსკუ

თვითმფრინავი მოძრაობს მოცემული მაგნიტური ველის მართობული მიმართულებით, რის გამოც ფრთებში მოხდება მუხტების განცალკევება (ლორენცის ძალის მოქმედებით) და ბოლოებზე აღიძვრება პოტენციალთა სხვაობა, რომელიც ტოლია

$$\Delta\varphi = Blv = 0.55\pi.$$

სიჩქარე რომ განვსაზღვროთ, საჭიროა გაიზომოს პოტენციალთა სხვაობა. თუ ფრთების ბოლოებს შევაერთებთ გამტარით და მივუერთებთ ვალტმეტრს, მაშინ თანაბრად მოძრავი თვითმფრინავის ფრთებით და გამტარით შექმნილი ფართობის გამჭოლი ინდუქციის ნაკადი იქნება მუდმივი და ინდუქციის ე.მ.დ. არ აღიძვრება. ამრიგად თვითმფრინავის სიჩქარესაც ვერ განვსაზღვრავთ (პოტენციალთა სხვაობა კონტურის ნებისმიერ ორ წერტილს შორის იქნება ნულის ტოლი). ინდუქციის ე.მ.დ. აღმოჩენა შესაძლებელია შხოლოდ თვითმფრინავის მოხვევის დროს, როდესაც შეიცვლება ინდუქციის ნაკადი - ამ დროს იცვლება კუთხე კონტურის სიბრტყესა და მაგნიტური ველის მიმართულებას შორის.

~~ნრიული ფირფიტის ვარდნა მაგნიტურ ველში:~~ მეტალის თხელი ნრიული ფირფიტა თავისუფლად ვარდება და შედის ელექტრომაგნიტის პოლუსებს შორის ორიჭოში ისე, რომ მაგნიტური ინდუქციის წირები ფირფიტის სიბრტყის მართობულია. როგორ შეიცვლება ვარდნის აჩქარება? მაგნიტური ველი პოლუსებს შორის ჩათვალეთ მუდმივად.

~~მაგნიტურ ველში შესვლისას ფირფიტაზე იმოქმედებს დამამუხრუქებელი ძალა, რადგან ფირფიტაში აღიძვრება ინდუქციური დენი და ე. აჩქარება შემცირდება. ფირფიტის მოძრაობისას პოლუსებს შორის ველში ფირფიტის გამჭოლი ინდუქციის ნაკადი არ იცვლება და აჩქარება კვლავ გაუტოლდება ე. მაგნიტური ველიდან გამოსვლის დროს აჩქარება ისევ შემცირდება.~~