

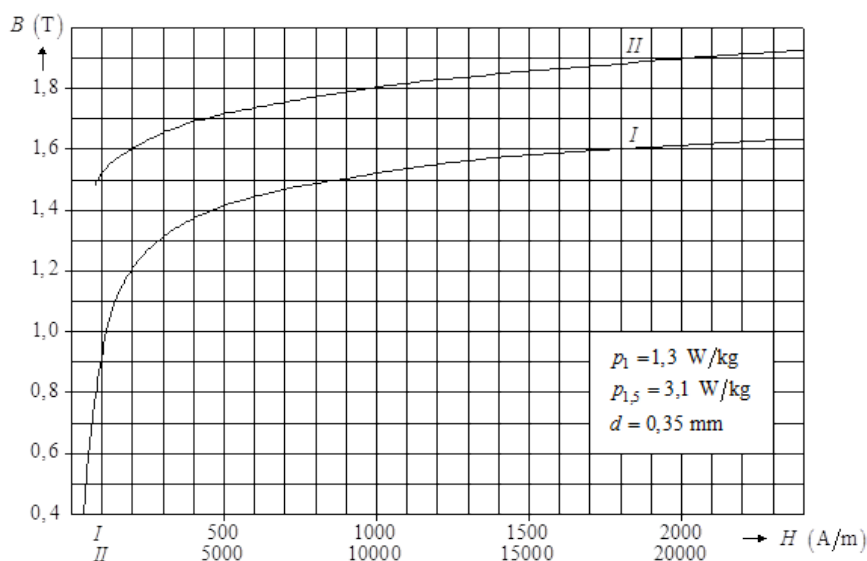
## 2 Sklop nalog 2: Transformator

### 2.1 Magnetilni tok in izgube prostega teka

Na primarno navitje neobremenjenega enofaznega transformatorja naj bo priključena izmenična napetost sinusne oblike efektivne vrednosti  $U_1 = 10 \text{ kV}$  in frekvence  $f = 50 \text{ Hz}$ . Magnetno jedro transformatorja ima efektivni presek  $A_{\text{Fe}} = 1 \text{ dm}^2$  ter srednjo dolžino  $l_{\text{Fe}} = 1 \text{ m}$ . Prostorninska masa uporabljene transformatorske pločevine znaša  $\rho_{\text{Fe}} = 7,55 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Za pločevino poznamo še specifične izgube  $p_{\text{Fe}}$ , ki so podane v tabeli 1 in magnetilno krivuljo, ki je prikazana na sliki 5.

| $B_{\text{ref}} [\text{T}]$ | $p_{\text{Fe,ref}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$ |
|-----------------------------|---|
| 1,0                         | 1,08  |
| 1,3                         | 1,90  |
| 1,5                         | 2,54  |

Tabela 1: Specifične izgube  $p_{\text{Fe}}$  pri različnih gostotah magnetnega pretoka.



Slika 5: Magnetilna krivulja uporabljenih pločevin (krivulja I)

Pri izračunih lahko zanemarimo padca napetosti, ki jih povzroča primarni tok neobremenjenega transformatorja  $I_{10}$  na ohmski upornosti  $R_1$  in induktivni upornosti  $X_{\sigma 1}$  primarnega navitja<sup>5</sup>.

(A) *Magnetilni tok:* Na podlagi magnetilne krivulje na sliki 5 smo sklenili, da uporabljen magnetni material v jedru transformatorja doseže nasičenje pri  $B_s > 1,4 \text{ T}$ .

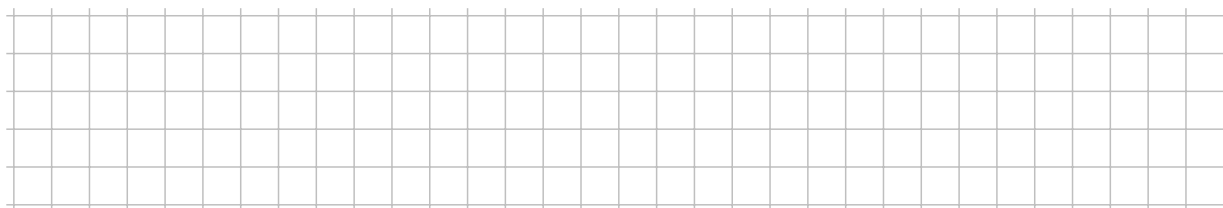
<sup>5</sup> Tok  $I_{10}$  je bistveno manjši v primerjavi z nazivnim tokom transformatorja  $I_{1N}$  ( $I_{10} \ll I_{1N}$ ), zato je  $I_{10} (R_1 + jX_{\sigma 1}) \approx 0$ .

- a) Narišite poenostavljeno nadomestno vezje, ki velja v prostem teku transformatorja.

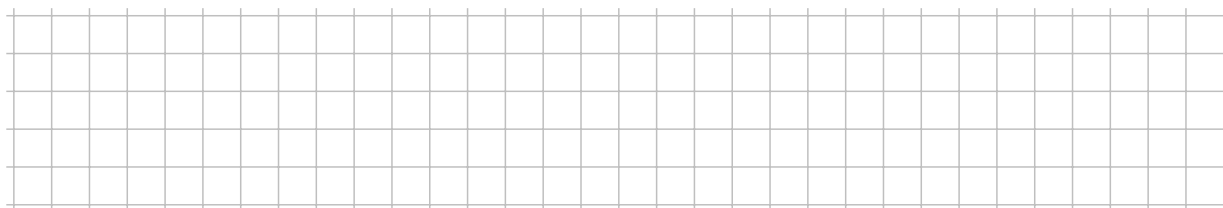


- b) Izračunajte največje število ovojev primarnega navitja ( $N_1 = ?$ ), da jedro transformatorja ne bo v nasičenju.

R:  $N_1 = 3218$

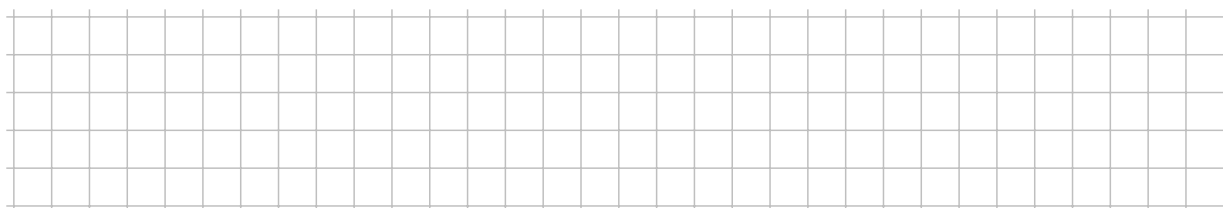


- c) Izračunajte inducirano napetost v enem ovojju navitja ( $E_{OV} = ?$ ). R:  $E_{OV} = 3,108 \text{ V}$



- d) Izračunajte temensko ( $\hat{I}_{1\mu} = ?$ ) in efektivno vrednost ( $I_{1\mu} = ?$ ) magnetilnega toka. Magnetilna krivulja je podana na sliki.

R:  $\hat{I}_{1\mu} = 0,143 \text{ A}$ ,  $I_{1\mu} = 0,101 \text{ A}$



(B) *Izgube v prostem teku:* Zaradi mehanske obdelave pločevine (štancanje, rezanje, ipd.) se lastnosti pločevine spremenijo, kar v splošnem vodi v povečanje histereznih izgub. Prav tako lahko zaradi poškodb izolacije pride do električno prevodnih stikov med lamelami, kar vodi v povečanje vrtilčnih izgub v jedru. Zato pri računanju izgub dodatno upoštevamo t.i. tehnološki faktor  $k$ , s čimer upoštevamo opisano povečanje izgub v izdelanem jedru. Za obravnavano jedro znaša tehnološki faktor  $k = 1,15$ .



## 2.2 Transformator v prostem teku

Enofazni transformator ima naslednje nazivne in geometrijske podatke: nazivna napetost  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{231}{42} \frac{\text{V}}{\text{V}}$ , nazivna frekvenca  $f = 50 \text{ Hz}$ , presek železnega jedra  $A_{\text{Fe}} = 17,42 \text{ cm}^2$ , srednja dolžina železnega jedra  $l_{\text{Fe}} = 0,36 \text{ m}$ , gostota magnetnega pretoka  $B = 1,37 \text{ T}$  ter prostorninska masa uporabljene pločevine  $\rho_{\text{Fe}} = 7,55 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Specifične izgube so podane v tabeli 2, magnetilna krivulja uporabljene pločevine pa je prikazana na sliki 5. Pri izračunu upoštevajte tehnološki faktor izdelave jedra, ki znaša  $k = 1,1$ .

Pri izračunih lahko zanemarimo padca napetosti, ki jih povzroča primarni tok neobremenjenega transformatorja  $I_{10}$  na ohmski upornosti  $R_1$  in induktivni upornosti  $X_{\sigma 1}$  primarnega navitja<sup>6</sup>.

| $B_{\text{ref}} [\text{T}]$ | $p_{\text{Fe,ref}} \left[ \frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$ |
|-----------------------------|---|
| 1,0                         | 1,30  |
| 1,5                         | 3,10  |

Tabela 2: Specifične izgube  $p_{\text{Fe}}$  pri različnih gostotah magnetnega pretoka.

<sup>6</sup> Tok  $I_{10}$  je bistveno manjši v primerjavi z nazivnim tokom transformatorja  $I_{\text{IN}}$  ( $I_{10} \ll I_{\text{IN}}$ ), zato je  $I_{10} (R_1 + jX_{\sigma 1}) \approx 0$ .

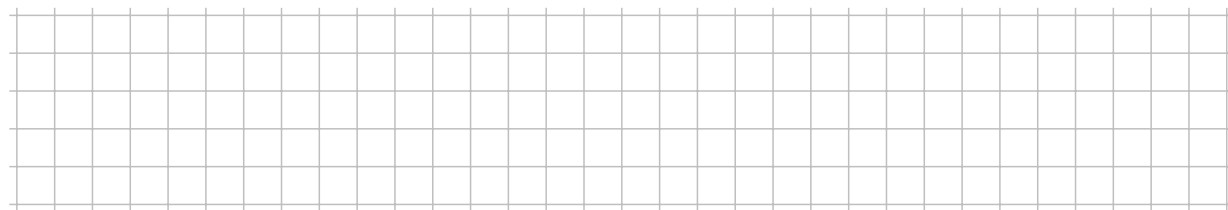


- a) Narišite poenostavljeno nadomestno vezje, ki velja v prostem teku transformatorja.



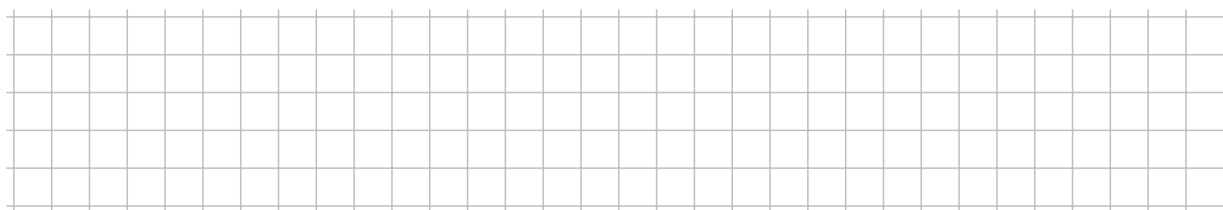
- b) Izračunajte število obojev primarnega in sekundarnega navitja ( $N_1 = ?$  in  $N_2 = ?$ ).

R:  $N_1 = 436$ ,  $N_2 = 79$



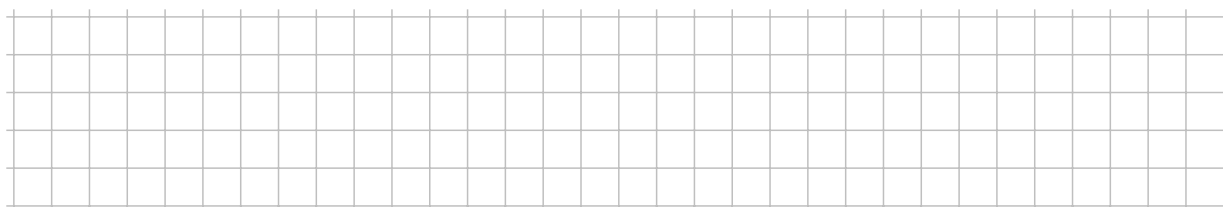
c) Izračunajte tok prostega teka ( $I_{10} = ?$ ).

R:  $I_{10} = 240,6 \text{ mA}$



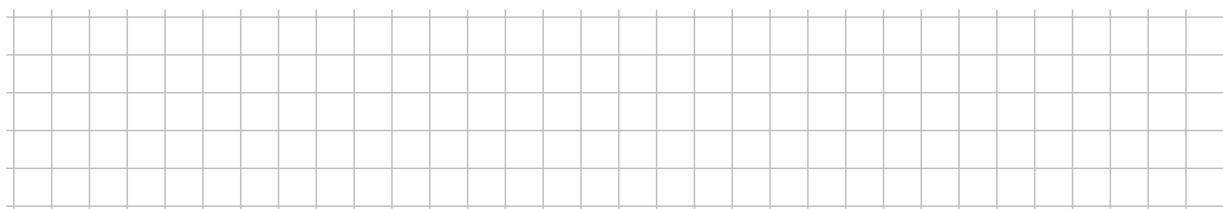
d) Izračunajte sprejeto moč ( $S_0 = ?$ ).

R:  $S_0 = 55,6 \text{ VA}$



e) Izračunajte faktor moči prostega teka ( $\cos \varphi_0 = ?$ ) ter fazni premik med napetostjo in tokom ( $\varphi_0 = ?$ ).

R:  $\cos \varphi_0 = 0,2419$ ,  $\varphi_0 = 76^\circ$



### 2.3 Komponente toka in moči v prostem teku

Na primarno navitje neobremenjenega enofaznega transformatorja je priključena napetost:

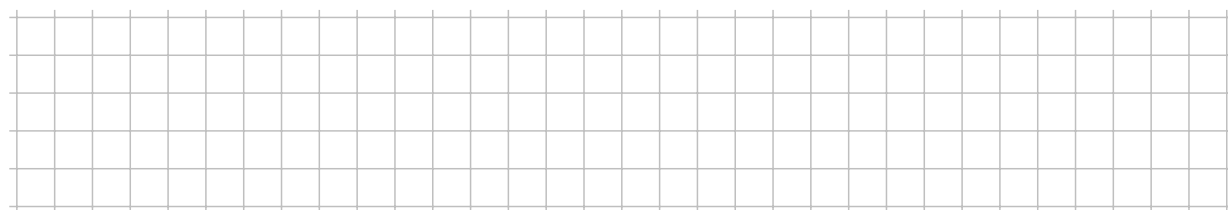
$$u_1(\omega t) = \tilde{U}_1 \sin(\omega t) = \sqrt{2} \cdot 231 \sin(\omega t) \text{ V.}$$

Z uporabo Fourierjeve analize lahko tok prostega teka v primarnem navitju transformatorja opišemo z:

$$i_{10}(\omega t) = \sqrt{2} [1,3 \sin(\omega t) - 7,0 \cos(\omega t) - 3,5 \cos(3\omega t)] \text{ A.}$$

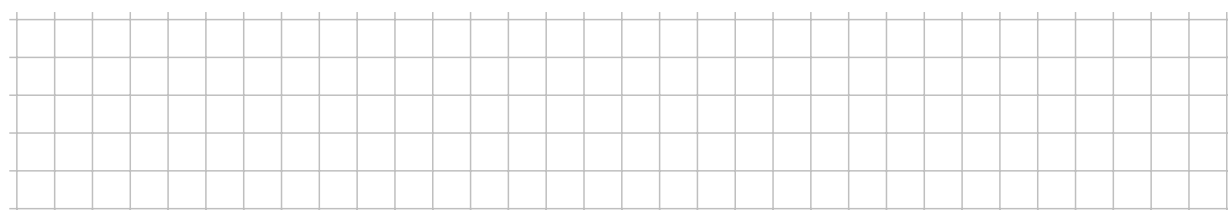


- a) Zakaj vsebuje tok prostega teka  $i_{10}$  višjiharmonske komponente?



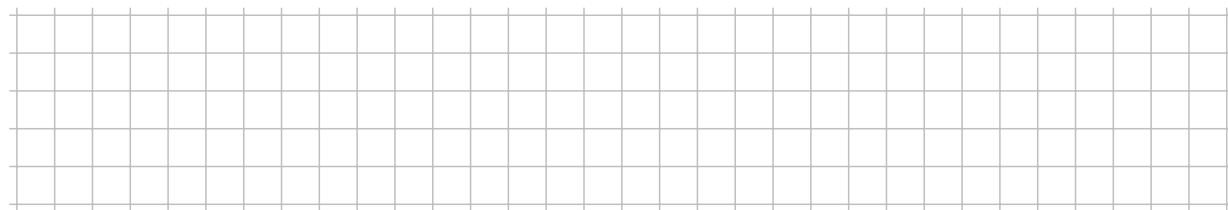
- b) Izračunajte magnetilno komponento toka prostega teka ( $I_{\mu 0} = ?$ ).

R:  $I_{\mu 0} = 7,826 \text{ A}$



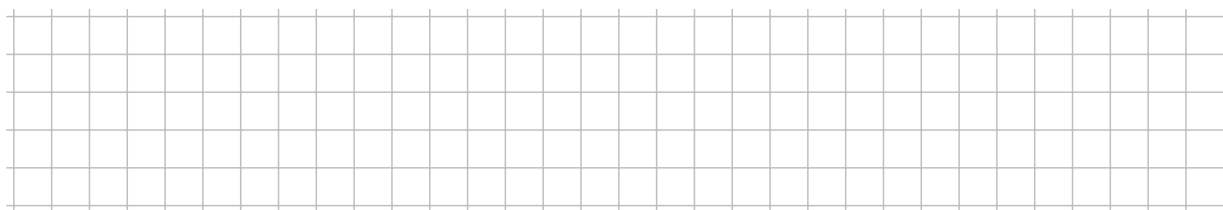
- c) Izračunajte delovno komponento toka prostega teka ( $I_{w0} = ?$ ).

R:  $I_{w0} = 1,3 \text{ A}$



d) Izračunajte skupni tok prostega teka ( $I_{10} = ?$ ).

R:  $I_{10} = 7,933 \text{ A}$

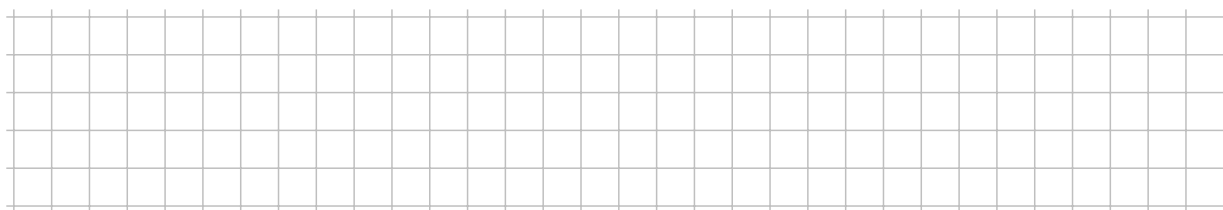


e) Narišite ustrezni kazalčni diagram.



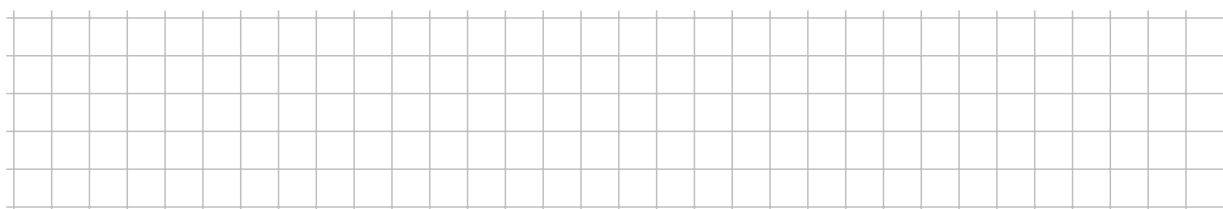
f) Izračunajte sprejeto navidezno moč ( $S_0 = ?$ ).

R:  $S_0 = 1832,5 \text{ VA}$



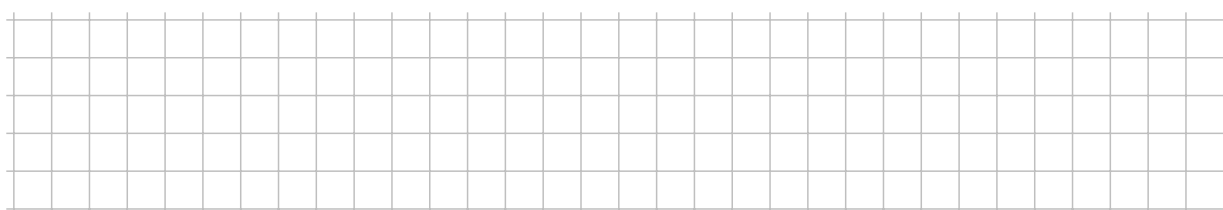
g) Izračunajte sprejeto delovno moč ( $P_0 = ?$ ).

R:  $P_0 = 300,3 \text{ W}$



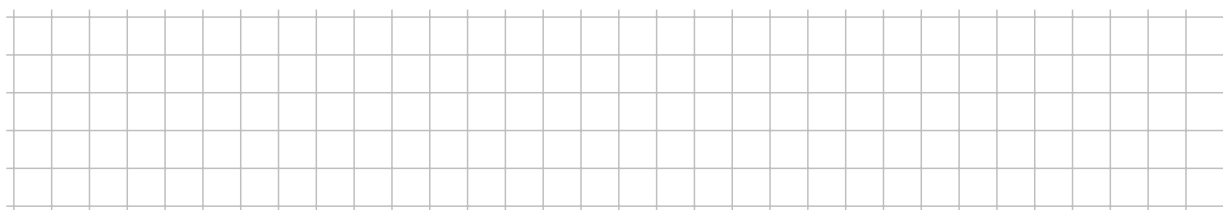
h) Izračunajte sprejeto jalovo moč ( $Q_0 = ?$ ).

R:  $Q_0 = 1807,8 \text{ VAr}$



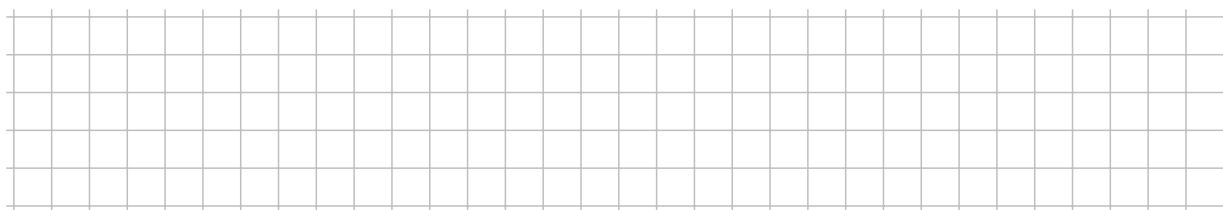
i) Izračunajte faktor moči prostega teka ( $\cos \varphi_0 = ?$ ) ter fazni premik med napetostjo in tokom ( $\varphi_0 = ?$ ).

R:  $\cos \varphi_0 = 0,1639$ ,  $\varphi_0 = 80,57^\circ$



j) Za kaj se porablja moč  $P_0$ ?

R:  $P_0 \approx P_{Fe}$





## 2.4 Komponente toka in moči v prostem teku II

Na primarno navitje neobremenjenega enofaznega transformatorja je priključena napetost efektivne vrednosti  $U_1 = 220 \text{ V}$ . S pomočjo merilne tuljave na jedru transformatorja in osciloskopa smo določili časovni potek magnetnega pretoka v jedru, ki ga lahko zapišemo z:

$$\Phi_g(\omega t) = 3 \cdot 10^{-3} \sin(\omega t) \text{ Vs.}$$

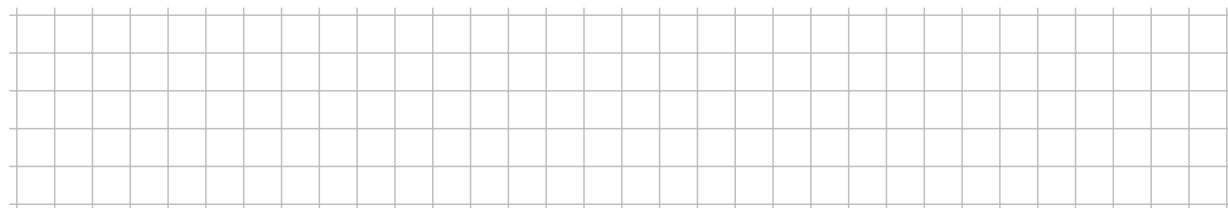
Sočasno smo z osciloskopom izmerili tudi tok prostega teka v primarnem navitju transformatorja. Z uporabo Fourierjeve analize lahko ta tok opišemo z:

$$i_{10}(\omega t) = 0,129 \sin(\omega t) + 0,056 \sin(3\omega t) + 0,018 \cos(\omega t) \text{ A.}$$



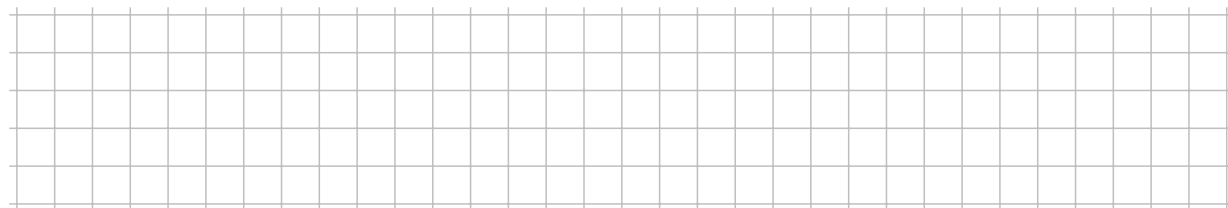
- a) Izračunajte magnetilno komponento toka prostega teka ( $I_{\mu 0} = ?$ ).

R:  $I_{\mu 0} = 99,4 \text{ mA}$



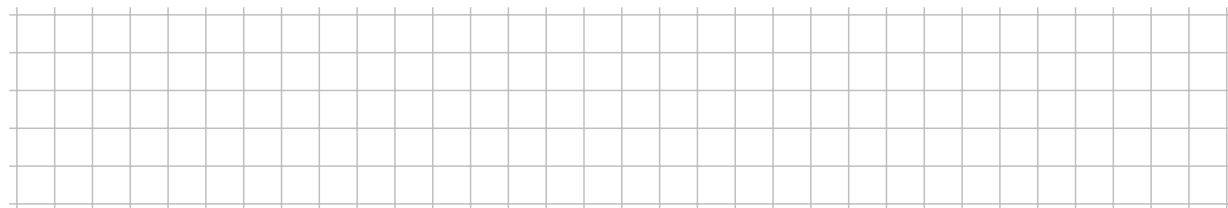
- b) Izračunajte delovno komponento toka prostega teka ( $I_{w0} = ?$ ).

R:  $I_{w0} = 12,7 \text{ mA}$



- c) Izračunajte skupni tok prostega teka ( $I_{10} = ?$ ).

R:  $I_{10} = 100 \text{ mA}$

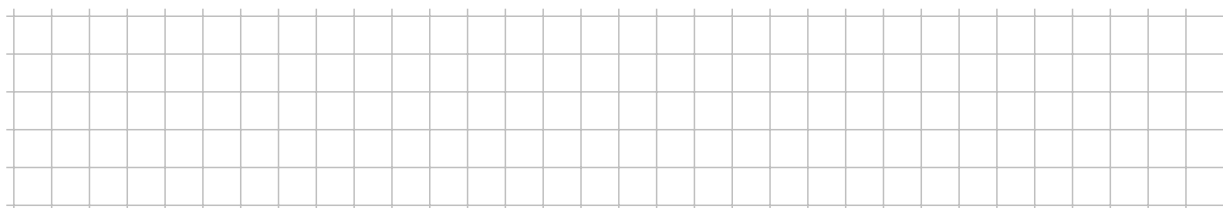


d) Narišite ustrezni kazalčni diagram.



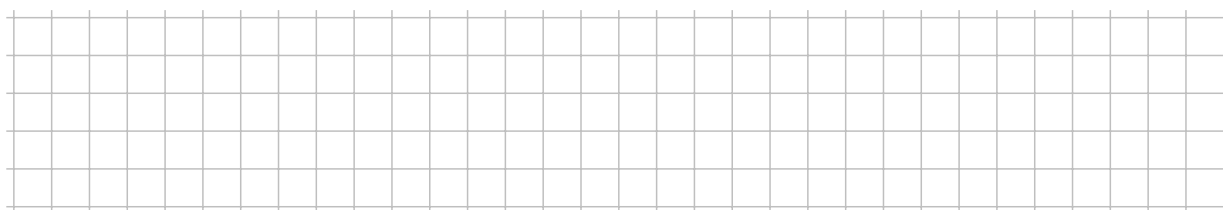
e) Izračunajte sprejeto navidezno moč ( $S_0 = ?$ ).

R:  $S_0 = 22,8 \text{ VA}$



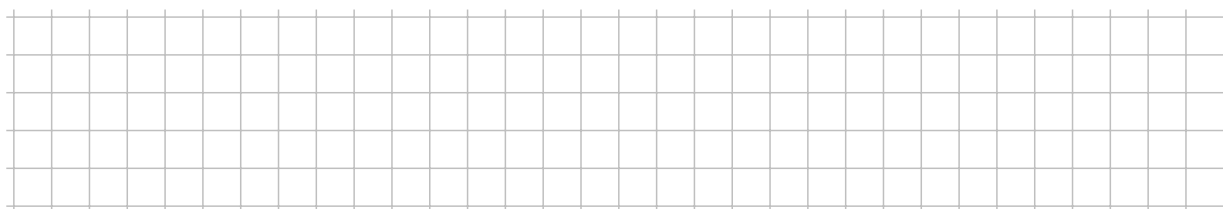
f) Izračunajte sprejeto delovno moč ( $P_0 = ?$ ).

R:  $P_0 = 2,79 \text{ W}$



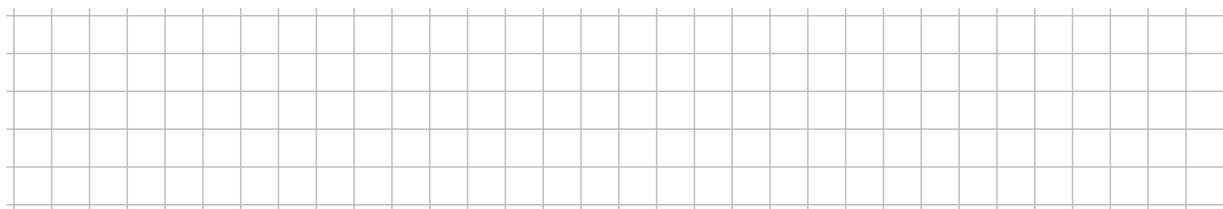
g) Izračunajte sprejeto jalovo moč ( $Q_0 = ?$ ).

R:  $Q_0 = 21,87 \text{ VAR}$

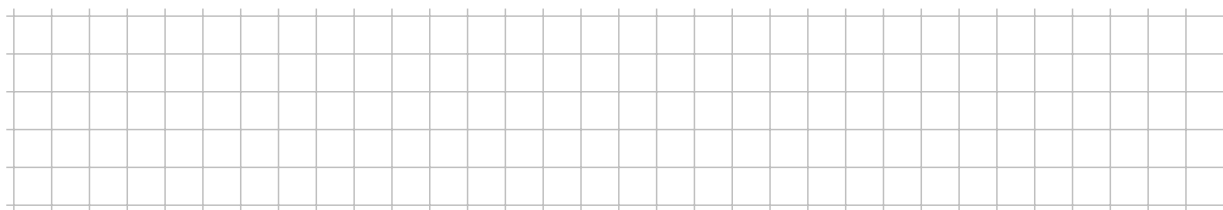


h) Izračunajte faktor moči prostega teka ( $\cos \varphi_0 = ?$ ) ter fazni premik med napetostjo in tokom ( $\varphi_0 = ?$ ).

R:  $\cos \varphi_0 = 0,127$ ,  $\varphi_0 = 82,7^\circ$



i) Zakaj je fazni premik med napetostjo in tokom  $\varphi_0 < 90^\circ$ ?



### 2.5 Nazivna napetost in frekvenca transformatorja

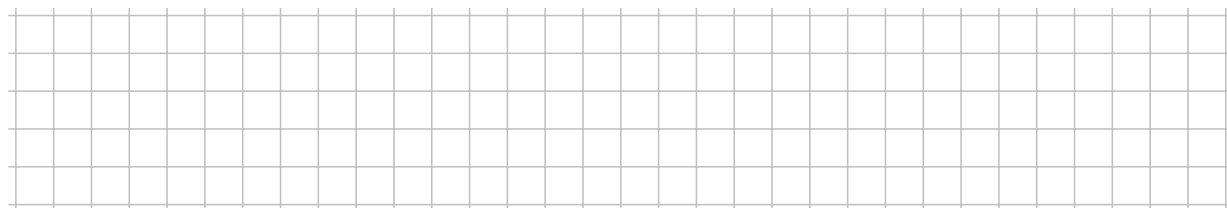
V državah EU se uporablja efektivna vrednost fazne napetosti  $U_{\text{EU}} = 231 \text{ V}$  frekvenca  $f_{\text{EU}} = 50 \text{ Hz}$ , medtem ko se v ZDA uporablja efektivna vrednost fazne napetosti  $U_{\text{ZDA}} = 110 \text{ V}$  frekvenca  $f_{\text{ZDA}} = 60 \text{ Hz}$ .



- a) Kakšna je gostota magnetnega pretoka v prostem teku  $B_{\text{EU}}$  glede na  $B_{\text{ZDA}}$  ( $\frac{B_{\text{EU}}}{B_{\text{ZDA}}} = ?$ ), če vzamemo enofazni transformator grajen za uporabo v ZDA in ga priključimo na EU omrežje<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> presek jedra in število obojev se ohrani.

$$R: \frac{B_{\text{EU}}}{B_{\text{ZDA}}} = 2,52$$



- b) Ali lahko takšen transformator uporabljamo v EU? Zakaj da oz. ne?

