

Практична робота №7

Магнітні матеріали та магнітопроводи електротехнічних пристроїв

Мета роботи: набути навичок розрахунку магнітного кола з феромагнітним осердям та повітряним зазором. Визначати магнітний потік, індукцію, напруженість магнітного поля та індуктивність котушки.

Короткі теоретичні відомості

Магнітне коло є узагальненою моделлю для опису розподілу магнітного поля в феромагнітних осердях, електромагнітах, трансформаторах і електричних машинах. За аналогією з електричними колами, у магнітних колах встановлюють відповідність між різницею потенціалів і магніторушійною силою, між струмом і магнітним потоком, а також між електричним опором і магнітним опором (релактансом). Основними величинами, що характеризують стан магнітного кола, є магнітний потік Φ (вебер, Вб), магнітна індукція B (тесла, Тл), напруженість магнітного поля H (ампер на метр, А/м), магніторушійна сила F (ампер-виток, А·вит) та магнітний опір R_m (А/Вб). Магнітний потік Φ відображає «кількість» магнітного поля, що проходить крізь задану поверхню, а магнітна індукція B характеризує густину цього потоку в поперечному перерізі провідного середовища й визначається як відношення потоку до площі перерізу: $B = \Phi/S$ де S – площа перерізу магнітопроводу.

Джерелом магнітного потоку в більшості практичних задач є котушка зі струмом, яка створює магніторушійну силу. Магніторушійна сила котушки визначається добутком числа витків N на силу струму:

$$F = N \cdot I$$

Фізично ця величина є інтегральною мірою «збудження» магнітного поля вздовж замкненого контуру й відповідає циркуляції вектора напруженості

магнітного поля. У лінійному наближенні, коли властивості матеріалу не залежать від рівня намагнічування, між ВВВ та ННН виконується співвідношення:

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна стала (проникність вакууму), а μ_r – відносна магнітна проникність матеріалу. Для феромагнітних матеріалів μ_r зазвичай значно перевищує одиницю й суттєво впливає на величину магнітного опору.

Опір (релактанс) окремої ділянки магнітного кола визначається її геометричними параметрами та магнітними властивостями матеріалу. Для однорідної ділянки довжиною магнітної лінії l і площею поперечного перерізу S магнітний опір задається формулою:

$$R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$$

З цієї залежності випливає, що збільшення довжини магнітного шляху підвищує магнітний опір, тоді як збільшення площі перерізу та проникності матеріалу зменшує його. У багатьох електротехнічних пристроях наявний повітряний зазор δ , який вводять конструктивно (наприклад, у електромагнітах або магнітних системах машин) або який виникає технологічно. Оскільки для повітря $\mu_r \approx 1$, магнітний опір зазору є значно більшим порівняно з опором феромагнітного осердя при однакових геометричних розмірах. Магнітний опір повітряного зазору оцінюють як:

$$R_\delta = \frac{\delta}{\mu_0 S}$$

Повний магнітний опір послідовно з'єднаних ділянок магнітного кола визначається сумою опорів окремих частин:

$$R_\Sigma = R_{oc} + R_\delta$$

де R_{oc} – сумарний опір феромагнітної частини.

У рамках лінійної магнітної моделі величина магнітного потоку прямо пропорційна магніторушійній силі та обернено пропорційна повному магнітному опору, що формально відповідає «закону Ома» для магнітних кіл:

$$\Phi = \frac{F}{R_{\Sigma}}$$

Отримавши значення потоку, визначають магнітну індукцію в потрібному перерізі як $B = \Phi/S$, що дозволяє оцінити робочий рівень індукції та перевірити допустимість режиму з точки зору насичення матеріалу. Слід підкреслити, що для феромагнітних матеріалів залежність $B(H)$ є нелінійною, тому наведені співвідношення є коректними лише як наближення для діапазону, де μ_r можна вважати сталою. У задачах підвищеної точності необхідно враховувати криву намагнічування та можливість насичення, за якого ефективна μ_r зменшується, а магнітний потік зростає вже не пропорційно збудженню.

Важливою параметричною характеристикою котушки, пов'язаною з її здатністю накопичувати енергію магнітного поля, є індуктивність L . У лінійному наближенні індуктивність визначається як відношення потокозчеплення до струму:

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

Підставляючи:

$$\Phi = \frac{NI}{R_{\Sigma}}$$

Отримують зручну розрахункову форму:

$$L = \frac{N^2}{R_{\Sigma}}$$

Порядок виконання

1. Записати вихідні дані свого варіанта: l , S , μ_r , N , I , δ . Перевести одиниці: S (см^2 в м^2), δ (мм в м).

2. Обчислити магнітний опір осердя:

$$R_{\text{ос}} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$$

Якщо осердя складається з кількох ділянок з різними довжинами або площами, опір визначають для кожної ділянки окремо і підсумовують.

3. Визначити магніторушійну силу:

$$R_{\delta} = \frac{\delta}{\mu_0 S}$$

4. Знайти сумарний магнітний потік:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{ос}} + R_{\delta}$$

5. Визначити магніторушійну силу котушки:

$$F = N \cdot I$$

6. Обчислити магнітний потік та магнітну індукцію:

$$\Phi = \frac{F}{R_{\Sigma}}$$

$$B = \frac{\Phi}{S}$$

7. Обчислити індуктивність котушки:

$$L = \frac{N^2}{R_{\Sigma}}$$

Приклад виконання практичної

Дано: $l = 0,30$ м; $S = 6$ см²; $\mu_r = 2000$; $N = 500$; $I = 0,20$ А; $\delta = 0,5$ мм.

Переведення одиниць у СІ:

$$S = 6 \text{ см}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 0,0006 \text{ м}^2$$

$$\delta = 0,50 \text{ мм} = 0,50 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,0005 \text{ м}$$

Магнітний опір осердя:

$$R_{\text{ос}} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$$

$$\mu_0 \mu_r S = 1,2566 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 0,0006 = 1,5080 \cdot 10^{-6}$$

$$R_{\text{ос}} = \frac{0,30}{1,5080 \cdot 10^{-6}} \approx 1,989 \cdot 10^5 \text{ А/Вб}$$

Сумарний магнітний опір:

$$R_{\Sigma} = R_{\text{ос}} + R_{\delta} \approx 1,989 \cdot 10^5 + 6,631 \cdot 10^5 \approx 8,621 \cdot 10^5 \text{ А/Вб}$$

Магніторушійна сила котушки:

$$F = N \cdot I = 400 \cdot 0,50 = 200$$

Магнітний потік і магнітна індукція:

$$\Phi = \frac{F}{R_{\Sigma}} = \frac{200}{8,621 \cdot 10^5} \approx 2,320 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$$

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{2,320 \cdot 10^{-4}}{0,0006} \approx 0,387 \text{ Тл}$$

Індуктивність котушки:

$$L = \frac{N^2}{R_{\Sigma}} = \frac{400^2}{8,621 \cdot 10^5} = \frac{160000}{862100} \approx 0,186 \text{ Гн}$$

Висновок: отримана магнітна індукція $B \approx 0,387$ Тл, що не перевищує типові допустимі значення для електротехнічної сталі ($\approx 1,3 \dots 1,6$ Тл). Режим роботи

магнітопроводу є допустимим, а насичення матеріалу в межах лінійного наближення не очікується. Індуктивність котушки становить $L \approx 0,186$ Гн. Найбільший внесок у сумарний магнітний опір дає повітряний зазор, тому зміна δ найсуттєвіше впливає на Φ , B та L .

Контрольні питання

1. Що таке магніторушійна сила та як її обчислити?
2. Запишіть формулу магнітного опору (релактансу) та поясніть її складові.
3. Чому повітряний зазор різко збільшує магнітний опір кола?
4. Як пов'язані Φ , B та S ?
5. Як визначити індуктивність котушки через магнітний опір?
6. Які типові допустимі значення індукції для електротехнічної сталі?
7. Як впливає збільшення числа витків N на Φ та L при незмінному струмі?
8. Для чого в магнітних колах застосовують феромагнітні матеріали

Варіанти виконання практичної

Варіант	l , м	S , см ²	μ_r	N	I , А	δ , мм
1	0.30	5	1500	400	0.25	0.2
2	0.25	5	1500	450	0.25	0.3
3	0.35	8	2500	600	0.18	0.6
4	0.40	7	1200	550	0.30	0.8
5	0.28	4	3000	400	0.22	0.2
6	0.50	10	1800	700	0.15	1.0
7	0.22	6	800	350	0.35	0.4
8	0.32	9	2200	650	0.20	0.5
9	0.45	8	1600	500	0.28	0.7
10	0.60	12	2000	800	0.12	0.9
11	0.27	5	4000	550	0.16	0.2
12	0.38	6	1100	480	0.32	0.6
13	0.33	7	2600	620	0.19	0.4
14	0.55	9	1400	750	0.14	0.8
15	0.24	4.5	2300	420	0.26	0.3

Практична робота №8

Визначення основних параметрів електричного кола за результатами вимірювань

Мета роботи: навчитись визначати опір навантаження та потужність у колі постійного струму за вимірними значеннями напруги і струму, оцінювати похибки вимірювань за класом точності приладів.

Короткі теоретичні відомості

У колі постійного струму взаємозв'язок між електричними величинами напругою U , струмом I та опором R описується законом Ома, відповідно до якого опір ділянки кола визначається як відношення прикладеної напруги до струму, що протікає через цю ділянку:

$$R = \frac{U}{I}$$

Це співвідношення є базовим для визначення параметрів навантаження за результатами вимірювань, а також для аналізу режимів роботи електричних кіл. Енергетичні характеристики навантаження в колі постійного струму оцінюють за електричною потужністю P , яка в загальному випадку дорівнює добутку напруги на струм:

$$P = U \cdot I$$

За умови активного навантаження ця величина відповідає швидкості перетворення електричної енергії в теплову, механічну або іншу форму.

Під час експериментального визначення U та I суттєвого значення набуває оцінювання точності вимірювань. Для аналогових електровимірювальних приладів похибка, як правило, нормується через клас точності k , який задають у відсотках від верхньої межі вимірювання шкали. Це означає, що максимальна абсолютна

похибка приладу вважається пропорційною межі вимірювання U_{\max} або I_{\max} і визначається як:

$$\Delta U = \frac{k_U}{100} U_{\max}$$

$$\Delta I = \frac{k_I}{100} I_{\max}$$

де k_U і k_I – класи точності відповідних приладів. Такий підхід відображає специфіку аналогових приладів: незалежно від поточного відліку на шкалі гранична абсолютна похибка залишається сталою для обраної межі вимірювання, тому при малих значеннях показів відносна похибка може істотно зростати.

Для кількісної характеристики точності результатів використовують відносні похибки, які визначаються як відношення абсолютної похибки до виміряного значення відповідної величини з подальшим вираженням у відсотках:

$$\delta_U = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%$$

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%$$

Оскільки опір і потужність у наведених задачах зазвичай обчислюють непрямым шляхом через виміряні U та I – необхідно оцінювати похибки цих похідних величин. У практичних розрахунках часто застосовують консервативну оцінку за принципом «найгіршого випадку», коли відносні похибки складових величин підсумовуються. Зокрема, для опору, що визначається як частка $R=U/I$, відносну похибку можна наближено оцінити як $\delta_R \approx \delta_U + \delta_I$. Аналогічно, для потужності $P=U \cdot I$ відносна похибка також наближено дорівнює сумі відносних похибок напруги і струму: $\delta_P \approx \delta_U + \delta_I$. Після визначення відносних похибок переходять до абсолютних похибок розрахункових величин, використовуючи співвідношення:

$$\Delta R = R \cdot \frac{\delta_R}{100}$$

$$\Delta P = P \cdot \frac{\delta_P}{100}$$

Порядок виконання

1. Записати з таблиці свій варіант: U , I , межі вимірювання U_{\max} та I_{\max} , класи точності k_U та k_I .
2. Обчислити $R = U/I$ та $P = U \cdot I$.
3. Знайти абсолютні похибки приладів: $\Delta U = (k_U/100) \cdot U_{\max}$ та $\Delta I = (k_I/100) \cdot I_{\max}$.
4. Обчислити відносні похибки: $\delta_U = \Delta U/U \cdot 100\%$ та $\delta_I = \Delta I/I \cdot 100\%$.
5. Оцінити похибки результатів: $\delta_R \approx \delta_U + \delta_I$ та $\delta_P \approx \delta_U + \delta_I$.
6. Знайти ΔR та ΔP і записати результат у вигляді: $R = R_{\text{ном}} \pm \Delta R$ та $P = P_{\text{ном}} \pm \Delta P$.

Приклад виконання

Дано: $U = 120$ В; $I = 2,4$ А; $U_{\max} = 150$ В; $I_{\max} = 5$ А; $k_U = 1,0$; $k_I = 1,5$.

Визначення опору навантаження:

$$R = \frac{120}{2,4} = 50,0 \text{ Ом.}$$

Визначення потужності навантаження:

$$P = U \cdot I.$$

$$P = 120 \cdot 2,4 = 288 \text{ Вт}$$

Абсолютні похибки вимірювальних приладів:

$$\Delta U = \frac{k_U}{100} \cdot U_{\max}, \quad \Delta I = \frac{k_I}{100} \cdot I_{\max}$$

$$\Delta U = \frac{1,0}{100} \cdot 150 = 1,5 \text{ В,}$$

$$\Delta I = \frac{1,5}{100} \cdot 5 = 0,075 \text{ А.}$$

Відносні похибки виміряних величин:

$$\delta_U = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100\%, \quad \delta_I = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\%$$

$$\delta_U = \frac{1,5}{120} \cdot 100\% = 1,25\%,$$

$$\delta_I = \frac{0,075}{2,4} \cdot 100\% = 3,125\% \approx 3,13\%.$$

Оцінка похибок непрямих вимірювань (найгірший випадок):

$$\delta_R \approx \delta_U + \delta_I, \quad \delta_P \approx \delta_U + \delta_I.$$

$$\delta_R \approx 1,25\% + 3,13\% = 4,38\%,$$

$$\delta_P \approx 4,38\%.$$

Абсолютні похибки результатів R та P:

$$\Delta R = R \cdot \frac{\delta_R}{100}, \quad \Delta P = P \cdot \frac{\delta_P}{100}$$

$$\Delta R = 50,0 \cdot \frac{4,38}{100} = 2,19 \text{ Ом},$$

$$\Delta P = 288 \cdot \frac{4,38}{100} = 12,61 \text{ Вт}.$$

Для запису відповіді округлимо похибки до зручної точності: $\Delta R \approx 2,2 \text{ Ом}$,
 $\Delta P \approx 13 \text{ Вт}$.

Відповідь:

$$R = (50,0 \pm 2,2) \text{ Ом}, \quad P = (288 \pm 13) \text{ Вт}.$$

Висновок: за виміряними значеннями напруги та струму визначено опір навантаження R і потужність P. На основі класів точності приладів розраховано абсолютні та відносні похибки, а також оцінено похибки непрямих вимірювань за принципом «найгіршого випадку». Отримані результати подано у вигляді інтервальних оцінок, що відображають можливий діапазон істинних значень

Контрольні питання

1. Що таке прямі та непрямі вимірювання? Наведіть приклади.
2. Як визначити опір за вимірними U та I ?
3. Як обчислюється потужність у колі постійного струму?
4. Що означає клас точності аналогового приладу?
5. Як знайти максимальну абсолютну похибку вимірювання за класом точності?
6. Як оцінити похибку результату для $R = U/I$?
7. Чому відносна похибка зростає при малих показах приладу?

Варіанти виконання практичної

Варіант	U, B	I, A	U_{max}, B	I_{max}, A	$k_U, \%$	$k_I, \%$
1	110	1.20	100	5	1.0	1.0
2	98	1.60	150	2.5	1.5	1.0
3	220	0.85	300	1	1.0	1.5
4	36	3.20	50	5	2.5	1.5
5	48	1.20	75	2.5	1.0	2.5
6	110	0.55	150	1	1.5	1.0
7	12	0.80	15	1	1.0	2.5
8	24	2.00	30	5	1.5	1.5
9	60	0.30	75	0.5	1.0	1.0
10	180	1.10	300	2.5	2.5	1.5
11	90	2.80	150	5	1.0	2.5
12	150	0.75	300	1	1.5	1.5
13	30	1.50	50	2.5	2.5	2.5
14	200	0.40	300	0.5	1.0	1.5
15	72	1.00	75	1	1.5	1.0

Практична робота №9

Аналіз електричних машин і пристроїв (асинхронний двигун)

Мета роботи: навчитись за паспортними даними трифазного асинхронного двигуна визначати основні робочі параметри: вхідну потужність, номінальний струм (розрахунковий), синхронну швидкість, ковзання, момент та втрати.

Короткі теоретичні відомості

Асинхронний двигун змінного струму характеризується тим, що в його статорі під дією трифазної системи струмів утворюється обертове магнітне поле, яке обертається із синхронною швидкістю n_1 . Ця швидкість визначається частотою живильної мережі f та числом пар полюсів p і обчислюється за співвідношенням:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p}$$

де n_1 подано в об/хв, f – у герцах, а p – безрозмірна величина, що задає полюсність машини. Реальна швидкість обертання ротора n у сталому режимі завжди є меншою за синхронну, оскільки виникнення електромагнітного моменту в асинхронній машині можливе лише за наявності відносного ковзання між полем статора та ротором. Ковзання s є основним кінематичним параметром двигуна і визначається як відносна різниця між синхронною швидкістю поля та швидкістю ротора:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}$$

У номінальному режимі ковзання, як правило, становить частки або одиниці відсотків для двигунів середньої та великої потужності і дещо більше для малопотужних машин.

Енергетичні показники роботи двигуна задаються насамперед номінальною механічною потужністю на валу P_2 , яку зазвичай наводять у кіловатах. Вхідна

електрична потужність P_1 , що споживається двигуном із мережі, пов'язана з вихідною потужністю через коефіцієнт корисної дії η (в частках одиниці) співвідношенням:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta}$$

Різниця між вхідною та вихідною потужностями визначає сумарні втрати в машині, що включають електричні втрати в обмотках, магнітні втрати в сталі, механічні втрати на тертя та вентиляцію, а також додаткові втрати; у розрахунковому наближенні їх оцінюють як:

$$P_{\text{втр}} = P_1 - P_2.$$

Для трифазного двигуна, що живиться від мережі з лінійною напругою U_ℓ , номінальний струм можна оцінити за енергетичним балансом, використовуючи співвідношення для активної потужності трифазної системи. За умови відомого коефіцієнта потужності $\cos\varphi$ наближене значення струму визначають формулою:

$$I \approx \frac{P_1}{\sqrt{3} U_\ell \cos\varphi}$$

де P_1 виражають у ватах (або узгоджено в кіловатах із відповідними коефіцієнтами перерахунку), U_ℓ – у вольтах, а I – в амперах. Механічні властивості двигуна на валу зручно характеризувати крутним моментом M , який пов'язаний із вихідною потужністю та швидкістю обертання ротора. У практичних інженерних розрахунках для P_2 у кіловатах і n в об/хв застосовують зручну перехідну формулу:

$$M = \frac{9550 \cdot P_2}{n}$$

Порядок виконання

1. Записати вихідні дані варіанта:

$$P_2, U_\ell, \eta, \cos \varphi, f, p, n$$

де P_2 – номінальна механічна потужність на валу (кВт), U_ℓ – лінійна напруга (В), η – ККД (у частках одиниці), $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності, f – частота мережі (Гц), p – число пар полюсів, n – швидкість ротора (об/хв).

2. Обчислити синхронну швидкість обертання магнітного поля:

$$n_1 = \frac{60 f}{p} \quad [\text{об/хв}].$$

3. Визначити ковзання асинхронного двигуна:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}, \quad s (\%) = s \cdot 100\%.$$

4. Обчислити вхідну електричну потужність двигуна:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} \quad [\text{кВт}].$$

5. Оцінити номінальний лінійний струм (для трифазної мережі):

$$I \approx \frac{P_1}{\sqrt{3} U_\ell \cos \varphi}$$
$$I \approx \frac{1000 P_1 (\text{кВт})}{\sqrt{3} U_\ell \cos \varphi}$$

6. Обчислити крутний момент на валу:

$$M = \frac{9550 P_2}{n}$$

7. Визначити сумарні втрати потужності:

$$P_{\text{втр}} = P_1 - P_2 \quad [\text{кВт}].$$

$$P_{\text{втр}}(\%) = \frac{P_{\text{втр}}}{P_1} \cdot 100\%$$

8. Сформулювати висновки.

Приклад виконання

Дано: $P_2 = 7,5$ кВт; $U_{\text{л}} = 380$ В; $\eta = 0,88$; $\cos\varphi = 0,82$; $f = 50$ Гц; $p = 2$; $n = 1440$ об/хв.

Синхронна швидкість обертання магнітного поля:

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500 \text{ об/хв}$$

Ковзання асинхронного двигуна:

$$s = \frac{1500 - 1440}{1500} = \frac{60}{1500} = 0,04.$$

$$s(\%) = 0,04 \cdot 100\% = 4\%$$

Вхідна електрична потужність:

$$P_1 = \frac{7,5}{0,88} = 8,52 \text{ кВт}$$

Оцінка номінального лінійного струму (трифазна мережа):

Оскільки $U_{\text{л}}$ у вольтах, потужність треба брати у ватах.

$$P_1 = 8,52 \text{ кВт} = 8,52 \cdot 10^3 \text{ Вт.}$$

$$I \approx \frac{8,52 \cdot 10^3}{1,732 \cdot 380 \cdot 0,82}$$

$$I \approx \frac{8520}{539,96} \approx 15,78 \text{ А} \approx 15,8 \text{ А.}$$

Крутний момент на валу:

$$M = \frac{9550 \cdot 7,5}{1440} = \frac{71625}{1440} = 49,74$$

Сумарні втрати потужності:

$$P_{\text{втр}} = 8,52 - 7,50 = 1,02 \text{ кВт.}$$

$$P_{\text{втр}}(\%) = \frac{1,02}{8,52} \cdot 100\% \approx 11,97\% \approx 12\%$$

Висновок: отримане ковзання $s=4\%$ відповідає типовому номінальному режиму асинхронного двигуна (швидкість ротора незначно менша за синхронну). Вхідна потужність P_1 перевищує вихідну P_2 через наявність втрат, які становлять $P_{\text{втр}}=1,02$ кВт (приблизно 12% від P_1). Крутний момент на валу $M \approx 49,7$ Н відповідає заданій потужності та швидкості обертання.

Контрольні питання

1. Що таке синхронна швидкість та від чого вона залежить?
2. Поясніть фізичний зміст ковзання асинхронного двигуна.
3. Як за ККД визначити вхідну потужність двигуна?
4. Запишіть формулу для оцінки струму трифазного двигуна.
5. Як обчислюється момент на валу за відомих P_2 та n ?
6. Назвіть основні складові втрат в асинхронному двигуні.
7. Які типові значення ковзання в номінальному режимі?

Варіанти виконання практичної

Варіант	P_2 , кВт	$U_{л1}$, В	η	$\cos\phi$	f , Гц	p	n , об/хв
1	7.5	380	0.88	0.82	50	2	1440
2	5.5	380	0.86	0.80	50	2	1460
3	3.0	380	0.84	0.78	50	2	1420
4	11.0	400	0.90	0.85	50	2	1475
5	2.2	230	0.82	0.75	50	1	2850
6	4.0	400	0.87	0.83	50	3	960
7	1.5	230	0.80	0.74	50	1	2880
8	7.5	400	0.89	0.84	50	3	965
9	9.0	380	0.91	0.86	50	1	2930
10	5.5	400	0.88	0.82	50	4	735
11	3.0	230	0.83	0.76	50	2	1415
12	11.0	380	0.89	0.85	50	3	980
13	2.2	400	0.86	0.80	50	2	1450
14	4.0	380	0.85	0.79	50	1	2895
15	9.0	400	0.90	0.84	50	4	740

Практична робота №10

Способи оцінки енергоефективності

Мета роботи: навчитись оцінювати енергоефективність електроприводу за річним споживанням електроенергії, визначати економію від підвищення ККД та розраховувати строк окупності заходу.

Короткі теоретичні відомості

У практичних умовах експлуатації електроприводів і електротехнічних установок корисна (механічна) потужність на навантаженні, як правило, є змінною в часі та залежить від режиму роботи механізму, технологічного процесу й ступеня завантаження. Для спрощеного інженерного аналізу енергоспоживання широко застосовують поняття коефіцієнта завантаження k_H (у межах $0 \dots 1$), який відображає середню частку використання номінальної потужності приводу. У такому наближенні середня корисна потужність на навантаженні визначається як:

$$P_{\text{кор}} = P_{\text{ном}} \cdot k_H$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна вихідна потужність двигуна (або приводу). Оскільки частина електричної енергії в процесі перетворення в механічну неминуче втрачається (втрати в обмотках, сталі, на тертя та вентиляцію), електрична вхідна потужність P_{in} , що споживається з мережі, є більшою за корисну і пов'язана з нею через коефіцієнт корисної дії η (у частках одиниці) співвідношенням:

$$P_{\text{in}} = \frac{P_{\text{кор}}}{\eta}$$

Кількісну оцінку енергоспоживання за тривалий період виконують через розрахунок спожитої електроенергії. Річне споживання електроенергії визначають як добуток середньої вхідної потужності на сумарний час напрацювання за рік t (у годинах):

$$E = P_{\text{in}} \cdot t$$

де E виражають у кВт\год. У задачах енергоефективності часто порівнюють два варіанти – базовий (до модернізації) та покращений (після модернізації, наприклад, заміна двигуна на більш енергоефективний, встановлення частотного перетворювача тощо). Тоді річну економію електроенергії оцінюють як різницю між споживанням у старому та новому варіантах:

$$\Delta E = E_{\text{стар}} - E_{\text{нов.}}$$

Економічний ефект від зниження енергоспоживання визначається грошовою економією S , яка прямо пропорційна зекономленій електроенергії та тарифу C на електроенергію:

$$S = \Delta E \cdot C$$

Для обґрунтування доцільності впровадження енергоефективних заходів використовують показник строку окупності, який відображає, за який час грошова економія компенсує початкові капітальні витрати. У найпростішій моделі строк окупності $T_{\text{ок}}$ визначають як відношення інвестиційних витрат до річної грошової економії:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\text{Інвестиції}}{S}$$

де $T_{\text{ок}}$ виражають у роках. Застосування наведених співвідношень дозволяє виконати спрощену, але інформативну оцінку енергетичного та економічного ефекту модернізації електропривода чи іншого електротехнічного обладнання з урахуванням режиму завантаження, ККД, тривалості роботи та вартості електроенергії.

Порядок виконання

1. Записати вихідні дані варіанта: $P_{\text{НОМ}}$, $k_{\text{Н}}$, t , $\eta_{\text{стар}}$, $\eta_{\text{нов}}$, тариф C , інвестиції.
2. Обчислити середню корисну потужність на навантаженні:

$$P_{\text{кор}} = P_{\text{НОМ}} \cdot k_{\text{Н}}$$

3. Визначити вхідну (споживану) потужність до та після модернізації:
4. Розрахувати річне споживання електроенергії:

$$E_{\text{стар}} = P_{\text{ін,стар}} \cdot t, \quad E_{\text{нов}} = P_{\text{ін,нов}} \cdot t$$

5. Знайти річну економію електроенергії та грошову економію:

$$\Delta E = E_{\text{стар}} - E_{\text{нов}}$$

$$S = \Delta E \cdot C$$

6. Обчислити строк окупності інвестицій:

$$T_{\text{ок}} = \frac{I_0}{S}$$

Приклад виконання

Дано: $P_{\text{НОМ}} = 5,5$ кВт; $k_{\text{Н}} = 0,75$; $t = 3000$ год/рік; $\eta_{\text{стар}} = 0,85$; $\eta_{\text{нов}} = 0,90$; тариф $C = 4,0$ грн/(кВт·год); інвестиції $I_0 = 18000$ грн.

Середня корисна потужність на навантаженні:

$$P_{\text{кор}} = 5,5 \cdot 0,75 = 4,125 \text{ кВт}$$

Вхідна (споживана) потужність до та після модернізації:

$$P_{\text{ін,стар}} = \frac{4,125}{0,85} = 4,8529 \text{ кВт} \approx 4,853 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{in,нов}} = \frac{4,125}{0,90} = 4,5833 \text{ кВт} \approx 4,583 \text{ кВт}$$

Річне споживання електроенергії:

$$E_{\text{стар}} = 4,853 \cdot 3000 = 14559$$

$$E_{\text{нов}} = 4,583 \cdot 3000 = 13749$$

Річна економія електроенергії:

$$\Delta E = 14559 - 13750 = 809$$

Грошова економія за рік:

$$S = 809 \cdot 4,0 = 3236 \text{ грн/рік} \approx 3235 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності інвестицій:

$$T_{\text{ок}} = \frac{18000}{3235} = 5,56 \text{ року}$$

Висновок: підвищення ККД електропривода з $\eta_{\text{стар}}=0,85$ до $\eta_{\text{нов}}=0,90$ за незмінного режиму завантаження ($k_n=0,75$) і напрацювання $t=3000$ год/рік забезпечує річну економію електроенергії $\Delta E \approx 809$ кВт, що відповідає грошовій економії близько $S \approx 3,2$ тис. грн/рік за тарифу 4 грн/(кВт·год). За умови інвестицій 18000 грн розрахунковий строк окупності становить приблизно $T_{\text{ок}} \approx 5,6$ року.

Контрольні питання

1. Що називають енергоефективністю електроприводу?
2. Поясніть роль коефіцієнта завантаження k_n .
3. Як пов'язані P_{in} , $P_{\text{кор}}$ та ККД η ?
4. Як обчислити річне споживання електроенергії?
5. Як визначити грошову економію від зниження споживання?

6. Що таке строк окупності та як його інтерпретувати?

7. Які фактори, крім ККД, впливають на споживання електроприводу?

Варіанти виконання практичної

Варіант	$P_{ном}$, кВт	k_n	t , год/рік	$\eta_{стар}$	$\eta_{нов}$	C , грн/кВт·год	Інвестиції, грн
1	4.0	0.60	2500	0.83	0.88	4.4	12000
2	7.5	0.70	3500	0.86	0.92	3.8	25000
3	3.0	0.80	2500	0.82	0.88	4.2	12000
4	11.0	0.60	4000	0.88	0.93	3.5	42000
5	2.2	0.90	2000	0.80	0.87	4.5	9000
6	4.0	0.65	3200	0.84	0.90	4.1	15000
7	1.5	0.85	1800	0.78	0.85	4.7	7000
8	9.0	0.55	4500	0.87	0.92	3.6	36000
9	5.5	0.80	2800	0.83	0.89	4.0	17000
10	7.5	0.60	5000	0.85	0.91	3.9	30000
11	3.0	0.70	3600	0.81	0.88	4.3	14000
12	11.0	0.75	3300	0.89	0.94	3.7	45000
13	2.2	0.65	4200	0.79	0.86	4.4	11000
14	4.0	0.90	2400	0.84	0.90	4.1	16000
15	9.0	0.70	3000	0.86	0.92	3.8	34000

Практична робота №11

Розрахунок ефективності простого електроприводу

Мета роботи: набути навичок оцінки енергетичних показників електроприводу: визначати загальний ККД, потрібну потужність на валу двигуна, електричну потужність споживання, крутні моменти та річне споживання електроенергії.

Короткі теоретичні відомості

У розрахунках електроприводів із механічною передачею (редуктором, муфтою, пасовою або ланцюговою передачею тощо) енергетичні та кінематичні параметри системи визначають з урахуванням втрат у кожній ланці приводу. Узагальненим показником якості передачі є її коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{перед}}$, який у загальному випадку задається добутком ККД окремих елементів, через які передається потужність від двигуна до робочого органа: $\eta_{\text{перед}} = \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{муф}} \cdot \dots$. Такий мультиплікативний характер обумовлений послідовним проходженням потоку потужності через ланки, у кожній з яких відбуваються механічні втрати на тертя, деформації та інші дисипативні процеси.

Корисна потужність на навантаженні $P_{\text{н}}$ (тобто потужність, яка реалізується робочим органом) є меншою за потужність, що повинна бути підведена до вала двигуна, оскільки частина енергії втрачається в механічній передачі. Тому необхідну потужність на валу двигуна визначають за співвідношенням:

$$P_{\text{вал}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{перед}}}$$

Далі, враховуючи, що сам електродвигун також має власні втрати (електричні, магнітні, механічні та додаткові), електрична вхідна потужність, яка споживається з мережі, пов'язана з потужністю на валу двигуна через ККД двигуна $\eta_{\text{дв}}$:

$$P_{el} = \frac{P_{вал}}{\eta_{дв}}$$

У результаті отримують послідовний енергетичний ланцюг «мережа – двигун – передача – навантаження», який дозволяє оцінити, яку потужність необхідно споживати для забезпечення заданого корисного навантаження.

Кінематичні співвідношення в системі електропривода визначаються передатним числом i механічної передачі. Якщо n_n – частота обертання робочого органа (навантаження), то швидкість на валу двигуна для заданого передатного числа оцінюють як:

$$n_{дв} = n_n \cdot i.$$

Це співвідношення відображає той факт, що передача змінює швидкість обертання, а разом із нею і рівень моменту, який необхідний на відповідних валах при заданій потужності. Механічний стан приводу часто характеризують крутним моментом M , який пов'язаний із потужністю P та частотою обертання n . В інженерній практиці для зручності застосовують перехідну формулу:

$$M = \frac{9550 \cdot P}{n}$$

де P задають у кіловатах, n – в об/хв, а момент M отримують у ньютон-метрах. Це співвідношення дозволяє швидко визначати момент як на валу двигуна, так і на валу навантаження, використовуючи відповідні значення потужності та швидкості для кожної ділянки приводу. Для енергетичного аналізу експлуатації приводу в часі важливим є визначення споживання електроенергії за заданий період роботи. Річне споживання електроенергії E оцінюють як добуток середньої електричної вхідної потужності двигуна P_{el} на напрацювання за рік t (у годинах):

$$E = P_{el} \cdot t.$$

Порядок виконання

1. Записати вихідні дані варіанта: P_H , n_H , i , $\eta_{ред}$, $\eta_{муф}$, $\eta_{дв}$, t .
2. Обчислити ККД механічної передачі. Оскільки ланки з'єднані послідовно, сумарний ККД передачі дорівнює добутку ККД окремих елементів:

$$\eta_{перед} = \eta_{ред} \cdot \eta_{муф}$$

3. Визначити потужність на валу двигуна:

$$P_{вал} = \frac{P_H}{\eta_{перед}}$$

4. Знайти електричну (вхідну) потужність двигуна:

$$P_{el} = \frac{P_{вал}}{\eta_{дв}}$$

5. Обчислити швидкість на валу двигуна:

$$n_{дв} = n_H \cdot i$$

6. Визначити крутні моменти на валу навантаження та на валу двигуна:

$$M_H = \frac{9550 P_H}{n_H}, \quad M_{дв} = \frac{9550 P_{вал}}{n_{дв}}$$

7. Розрахувати споживання електроенергії за період роботи:

$$E = P_{el} \cdot t$$

8. Зробити висновок.

Приклад виконання практичної

Дано: $P_H = 4,0$ кВт; $n_H = 300$ об/хв; $i = 5$; $\eta_{\text{ред}} = 0,95$; $\eta_{\text{муф}} = 0,99$; $\eta_{\text{дв}} = 0,88$; $t = 2500$ год/рік.

Обчислення ККД механічної передачі. Оскільки передача складається з послідовно з'єднаних ланок (редуктор + муфта), сумарний ККД дорівнює добутку ККД цих елементів:

$$\eta_{\text{перед}} = 0,95 \cdot 0,99 = 0,9405$$

Потужність, яку повинен забезпечити двигун на своєму валу, більша за корисну потужність навантаження через втрати в передачі:

$$P_{\text{вал}} = \frac{4,0}{0,9405} = 4,253 \text{ кВт} \approx 4,25 \text{ кВт}$$

Електрична потужність, що споживається з мережі, враховує втрати самого двигуна:

$$P_{\text{ел}} = \frac{4,25}{0,88} = 4,830 \text{ кВт} \approx 4,83 \text{ кВт}$$

Передатне число i показує, у скільки разів швидкість двигуна більша за швидкість навантаження:

$$n_{\text{дв}} = 300 \cdot 5 = 1500 \text{ об/хв}$$

Крутний момент визначають за інженерною формулою:

$$M_H = \frac{9550 P_H}{n_H} = \frac{9550 \cdot 4,0}{300}$$

$$M_H = \frac{38200}{300} = 127,33 \text{ Н}$$

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 P_{\text{вал}}}{n_{\text{дв}}} = \frac{9550 \cdot 4,25}{1500}$$

$$M_{\text{дв}} = \frac{40587,5}{1500} = 27,06 \text{ Н}$$

Споживання електроенергії визначають як добуток електричної потужності на час роботи:

$$E = 4,83 \cdot 2500 = 12075 \text{ кВт}$$

Висновок: сумарний ККД механічної передачі становить $\eta_{\text{перед}}=0,9405$, тобто близько 5,95% механічної потужності втрачається в редукторі та муфті. Для забезпечення корисної потужності $P_{\text{н}}=4,0$ кВтР на навантаженні двигун повинен розвивати на своєму валу приблизно $P_{\text{вал}}\approx 4,25$ кВтР, а з урахуванням ККД двигуна споживає з мережі близько $P_{\text{ел}}\approx 4,83$ кВтР. При швидкості навантаження 300 об/хв момент на робочому валу становить $M_{\text{н}}\approx 127$ Н, тоді як на валу двигуна за швидкості 1500 об/хв він дорівнює $M_{\text{дв}}\approx 27$ Н. Річне споживання електроенергії за умови роботи $t=2500$ год/рік становить приблизно $E\approx 1,21 \cdot 10^4$ кВт.

Контрольні питання

1. Як визначити загальний ККД приводу з кількох ланок?
2. Чому потужність на валу двигуна більша за потужність на навантаженні?
3. Як пов'язане передатне число і зі швидкістю двигуна?
4. Запишіть формулу моменту через потужність і швидкість обертання.
5. Які фактори впливають на ККД редуктора?
6. Як оцінити річне споживання електроенергії приводу?

Варіанти виконання практичної

Варіант	P_n , кВт	n_n , об/хв	i	$\eta_{ред}$	$\eta_{муф}$	$\eta_{дв}$	t , год/рік
1	2.0	210	7	0.95	0.97	0.80	2500
2	2.2	150	10	0.94	0.98	0.86	3000
3	5.5	600	3	0.96	0.99	0.90	2200
4	7.5	450	4	0.93	0.99	0.89	2800
5	1.5	200	6	0.95	0.97	0.84	1800
6	3.0	120	12	0.92	0.98	0.85	3200
7	9.0	750	2	0.97	0.99	0.91	2000
8	11.0	500	3	0.95	0.98	0.90	2600
9	4.0	240	6	0.94	0.99	0.87	2400
10	2.2	100	15	0.91	0.97	0.83	3500
11	5.5	900	2	0.96	0.99	0.92	1900
12	7.5	360	5	0.93	0.98	0.88	3000
13	1.5	80	20	0.90	0.97	0.82	4000
14	3.0	180	8	0.94	0.99	0.86	2700
15	9.0	600	3	0.95	0.99	0.90	2300

Практична робота №12

Розрахунок трансформатора

Мета роботи: опанувати спрощений інженерний розрахунок однофазного трансформатора: визначати кількість витків обмоток, номінальні струми та орієнтовні перерізи провідників.

Короткі теоретичні відомості

У спрощених інженерних розрахунках силового трансформатора, що працює в синусоїдальному режимі, вихідними є співвідношення, які пов'язують напругу обмоток із параметрами магнітного поля та геометрією осердя. Основою такого опису є рівняння електрорушійної сили (ЕРС), яке для синусоїдальної форми магнітного потоку дає наближений зв'язок між діючим значенням напруги обмотки та максимальною індукцією в осерді. У прийнятому наближенні діюча напруга на витках визначається як:

$$U \approx 4,44 f N B_{\max} S_{fe}$$

де f – частота мережі, N – число витків відповідної обмотки, B_{\max} – максимальне значення магнітної індукції в осерді, а S_{fe} – ефективна площа поперечного перерізу магнітопроводу. Коефіцієнт 4,44 впливає з переходу від амплітудного значення синусоїдальної ЕРС до її діючого значення та враховує синусоїдальний закон зміни потоку.

З практичної точки зору зручно оперувати величиною «число витків на 1 вольт», що дозволяє швидко оцінити кількість витків для первинної та вторинної обмоток при заданих напругах і параметрах магнітної системи. Цю величину визначають як:

$$w = \frac{1}{4,44 f B_{\max} S_{fe}}$$

Тоді число витків первинної та вторинної обмоток можна знайти за лінійною залежністю:

$$N_1 = w U_1 \text{ і } N_2 = w U_2$$

де U_1 та U_2 – номінальні діючі напруги відповідних обмоток. У межах цього наближення передбачається, що магнітна індукція підтримується в допустимому робочому діапазоні, а магнітопровід не входить у насичення, що забезпечує прийнятні втрати та нагрів.

Навантажувальні характеристики трансформатора у найпростішому розрахунку зручно задавати через номінальну повну потужність S_2 (у вольт-амперах), яка приблизно дорівнює добутку номінальної напруги та струму вторинної обмотки. Якщо втратами (у міді та сталі) знехтувати, а ККД вважати близьким до одиниці, то номінальний струм вторинної обмотки оцінюють за формулою:

$$I_2 \approx \frac{S_2}{U_2}$$

А струм первинної обмотки:

$$I_1 \approx \frac{S_2}{U_1}$$

Такий підхід відображає той факт, що за ідеалізованої моделі трансформатора вхідна і вихідна потужності приблизно рівні, а співвідношення струмів визначається співвідношенням напруг.

Для подальшого конструктивного розрахунку необхідно оцінити переріз провідників обмоток, виходячи з допустимого теплового режиму. З цією метою вводять допустиму густину струму J (у А/мм²), яка залежить від класу ізоляції, умов

охолодження та тривалості навантаження. Орієнтовну площу поперечного перерізу провідника визначають як:

$$a = \frac{I}{J}$$

де I – розрахунковий струм відповідної обмотки. Якщо як провідник використовується мідний дріт круглого перерізу, то його діаметр можна оцінити через знайдену площу перерізу, використовуючи геометричний зв'язок між площею круга та діаметром:

$$d = \sqrt{\frac{4a}{\pi}}$$

Застосування наведених співвідношень дозволяє виконати узгоджену попередню оцінку основних параметрів трансформатора – числа витків, робочої індукції, номінальних струмів та орієнтовних розмірів провідників, що є необхідним етапом перед деталізованим розрахунком із урахуванням втрат, нагріву, заповнення вікна осердя та конструктивних обмежень.

Порядок виконання

1. Записати вихідні дані варіанта: U_1 , U_2 , S_2 , f , S_{fe} , B_{max} , J . Перевести S_{fe} (см^2 в м^2 , де $1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$).
2. Знайти число витків на 1 В та кількість витків обмоток, число витків на 1 В:

$$w = \frac{1}{4,44 f B_{max} S_{fe}}$$

Тоді кількість витків:

$$N_1 = w \cdot U_1, \quad N_2 = w \cdot U_2$$

3. Обчислити номінальні струми обмоток:

$$I_2 = \frac{S_2}{U_2}, \quad I_1 = \frac{S_2}{U_1}$$

4. Знайти орієнтовні площі поперечного перерізу провідників:

$$a_1 = \frac{I_1}{J}, \quad a_2 = \frac{I_2}{J}$$

5. Обчислити діаметри круглого провідника:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4a_1}{\pi}}, \quad d_2 = \sqrt{\frac{4a_2}{\pi}}$$

6. Зробити висновок щодо отриманих параметрів.

Приклад виконання практичної

Дано: $U_1 = 220$ В; $U_2 = 24$ В; $S_2 = 200$ ВА; $f = 50$ Гц; $S_{fe} = 10$ см²; $B_{max} = 1,2$ Тл; $J = 2,5$ А/мм².

Переведення площі перерізу осердя в СІ:

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

Число витків на 1 В та кількість витків обмоток:

$$w = \frac{1}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3}} = \frac{1}{0,2664} = 3,754 \text{ вит/В}$$

$$N_1 = 3,754 \cdot 220 = 825,9 \approx 826 \text{ вит}$$

$$N_2 = 3,754 \cdot 24 = 90,1 \approx 90 \text{ вит.}$$

Номінальні струми обмоток:

$$I_2 = \frac{200}{24} = 8,33 \text{ A},$$

$$I_1 = \frac{200}{220} = 0,909 \approx 0,91 \text{ A}$$

Орієнтовні площі поперечного перерізу провідників:

$$a_1 = \frac{0,91}{2,5} = 0,364 \text{ мм}^2,$$

$$a_2 = \frac{8,33}{2,5} = 3,33 \text{ мм}^2.$$

Діаметри круглого провідника:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,364}{\pi}} = \sqrt{\frac{1,456}{3,1416}} = \sqrt{0,4637} = 0,681 \text{ мм} \approx 0,68 \text{ мм}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,33}{\pi}} = \sqrt{\frac{13,32}{3,1416}} = \sqrt{4,241} = 2,060 \text{ мм} \approx 2,06 \text{ мм}$$

Висновок: для заданих напруг $U_1=220 \text{ В}$ і $U_2=24 \text{ В}$ та потужності $S_2=200 \text{ ВА}$ при $f=50 \text{ Гц}$, $V_{\max}=1,2 \text{ Тл}$ і площі осердя $S_{fe}=10 \text{ см}^2$ потрібно орієнтовно $N_1 \approx 826$ витків у первинній та $N_2 \approx 9$ -витків у вторинній обмотці. Номінальні струми становлять приблизно $I_1 \approx 0,91 \text{ А}$ і $I_2 \approx 8,33 \text{ А}$. За допустимої густини струму $J=2,5 \text{ А/мм}^2$ рекомендовані площі перерізу провідників дорівнюють $a_1 \approx 0,364 \text{ мм}^2$ та $a_2 \approx 3,33 \text{ мм}^2$, що відповідає орієнтовним діаметрам дроту $d_1 \approx 0,68 \text{ мм}$ і $d_2 \approx 2,06 \text{ мм}$.

Контрольні питання

1. Запишіть основне рівняння ЕРС трансформатора та поясніть параметри.
2. Що таке V_{\max} і чому її обмежують?
3. Як визначити витки на 1 В (w) та кількість витків обмоток?

4. Як оцінити струми первинної та вторинної обмоток у спрощеному розрахунку?
5. Від чого залежить вибір густини струму J ?
6. Як перейти від перерізу провідника до діаметра?

Варіанти практичної роботи

Варіант	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$S_2, \text{ВА}$	$f, \text{Гц}$	$S_{\text{fe}}, \text{см}^2$	$B_{\text{max}}, \text{Тл}$	$J, \text{А/мм}^2$
1	220	24	200	50	10	1.2	2.5
2	380	36	500	50	18	1.3	2.8
3	220	12	150	50	8	1.1	2.5
4	400	24	800	50	25	1.4	3.0
5	230	48	300	50	14	1.2	2.5
6	110	24	120	50	7	1.0	2.2
7	220	36	250	50	12	1.2	2.6
8	380	110	1000	50	30	1.4	3.2
9	230	24	400	50	16	1.3	2.8
10	400	12	200	50	11	1.1	2.4
11	220	110	600	50	22	1.3	3.0
12	110	12	60	50	5	0.9	2.0
13	230	36	350	50	15	1.2	2.7
14	380	24	600	50	20	1.3	3.0
15	400	48	1200	50	35	1.4	3.5