

# Етапи проектування

Умовно процес проектування можна розділити на наступні етапи:

- підготовчий;
- розрахунковий;
- створення робочої конструкторської документації.

Підготовчий етап починається з отримання від замовника або створення за вказівкою замовника основних вимог до ЕМПЕ, який буде проектуватися.

Ці вимоги можуть бути представлені у вигляді технічного завдання (ТЗ) або технічних вимог (ТВ). В них обов'язково вказується номінальна потужність та напруга, а також інші експлуатаційні вимоги.

Виходячи з поставлених вимог, проектувальник повинен оцінити можливість їх виконання, вибрати та запропонувати ту чи іншу конструкцію ЕМПЕ, активні, ізоляційні та конструктивні матеріали, передбачити просту технологію виготовлення при мінімально-можливих фінансових витратах.

Попереднє рішення підготовчого етапу повинно відповідати **діючим стандартам** і бути затверджене замовником !

# Етапи проектування

## Підготовчий етап



### 1 Технічні умови

Дані технічні умови поширюються на силовий трифазний двообмотковий масляний трансформатор потужністю 1000 кВА загального призначення, призначений для прийому, передачі і розподілу електричної енергії в лініях електропередачі і електричних мережах.

Далі необхідно вказати місце встановлення і умови експлуатації (кліматичне виконання та категорію розміщення), а у кінці вступу - умовне позначення трансформатора, наприклад: ТМ 1000/10 У1.

#### 1.1 Технічні вимоги

Спроекований трифазний силовий масляний трансформатор загального призначення потужністю 1000 кВА повинен відповідати вимогам даних технічних умов і комплекту документації згідно шифру EM81.10 5 20.17.

##### 1.1.1 Основні параметри і розміри

1.1.1.1 Основні параметри. Основні параметри наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Основні параметри	Умовне позначення	Одиниця виміру	Величина
Повна потужність трансформатора	S	кВА	1000
Номінальна лінійна напруга	U <sub>Л1</sub>	кВ	10
Номінальна лінійна напруга	U <sub>Л2</sub>	кВ	6,3
Схема та груп з'єднання обмоток		—	Y/Δ-11
Число ступені регулювання	ПБЗ	ступ.	4
Межі регулювання	—	%	±2·2,5
Втрати холостого ходу	P <sub>0</sub>	кВт	2,1
Втрати короткого замикання	P <sub>к</sub>	кВт	11,6
Напруга короткого замикання	U <sub>к</sub>	%	5,5
Струм холостого ходу	I <sub>0</sub>	%	1,4
Частота живлячої мережі	f	Гц	50
Число фаз	m	—	3

# Етапи проектування

Розрахунковий етап проектування повинен виконати наступні вимоги:

- ЕМПЕ, що проектується, повинен бути надійним в експлуатації;
- ЕМПЕ, що проектується, повинен задовольняти експлуатаційні характеристики згідно вимогам;
- спроектованому ЕМПЕ повинна бути дана економічна характеристика.

Під надійністю розуміють електричну, теплову та механічну міцність ЕМПЕ в усіх режимах роботи, вказаних в технічному завданні. Міцність забезпечується електромагнітним, тепловим, вентиляційним та механічним розрахунками.

Експлуатаційні можливості ЕМПЕ забезпечуються відповідним вибором основних розмірів та електромагнітним розрахунком, який включає в себе: розрахунок обмоток, магнітного кола, параметрів та експлуатаційних характеристик.

Розрахунковий етап закінчується економічною оцінкою спроектованого ЕМПЕ, враховуючи вартість матеріалів, затрат на виробництво та експлуатацію.

# Етапи проектування

## Розрахунковий етап



### 3 Основні розрахунки

#### 3.1 Визначення основних електричних величин

Номінальна потужність, ВА

$$S = 1000000$$

Номінальні напруги, В

$$U_{\text{нн}} = 690$$

$$U_1 = U_{\text{нн}} = 690$$

$$U_{\text{вн}} = 20000$$

$$U_2 = U_{\text{вн}} = 20000$$

З'єднання обмоток  $\Delta/Y-11$

Кількість фаз

$$m = 3$$

Кількість стрижнів

$$c = 3$$

Частота мережі, Гц

$$f = 50$$

Втрати короткого замикання, Вт

$$p_k = 12200$$

Втрати неробочого ходу, Вт

$$P_0 = 2100$$

Напруга короткого замикання, %

$$u_k = 5.5$$

Струм неробочого ходу, %

$$i_0 = 1.4$$

Потужність однієї фази, ВА

$$S_{\phi} = \frac{S}{m} = \frac{1000000}{3} = 333333.33333$$

Номінальні лінійні струми, А

обмотка НН

$$I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{100000 \cdot \sqrt{3}}{207} = 836.73952$$

обмотка ВН

# Етапи проектування

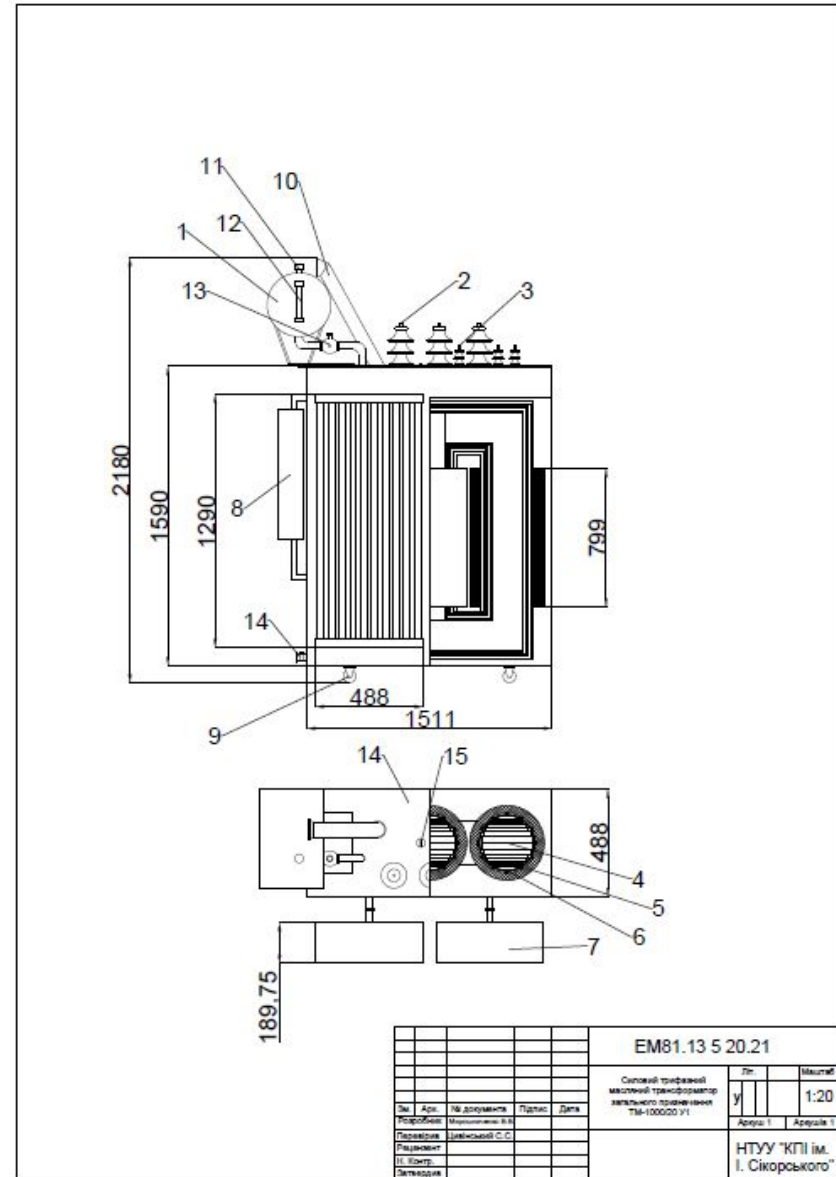
Кінцевий етап проектування включає складання робочої конструкторської документації, тобто робочих креслень на деталі та складальні креслення вузлів, конструкція та розміри яких визначені на розрахунковому етапі.

Міждержавний стандарт встановлює наступні етапи розробки конструкторської документації на вироби в усіх галузях промисловості:

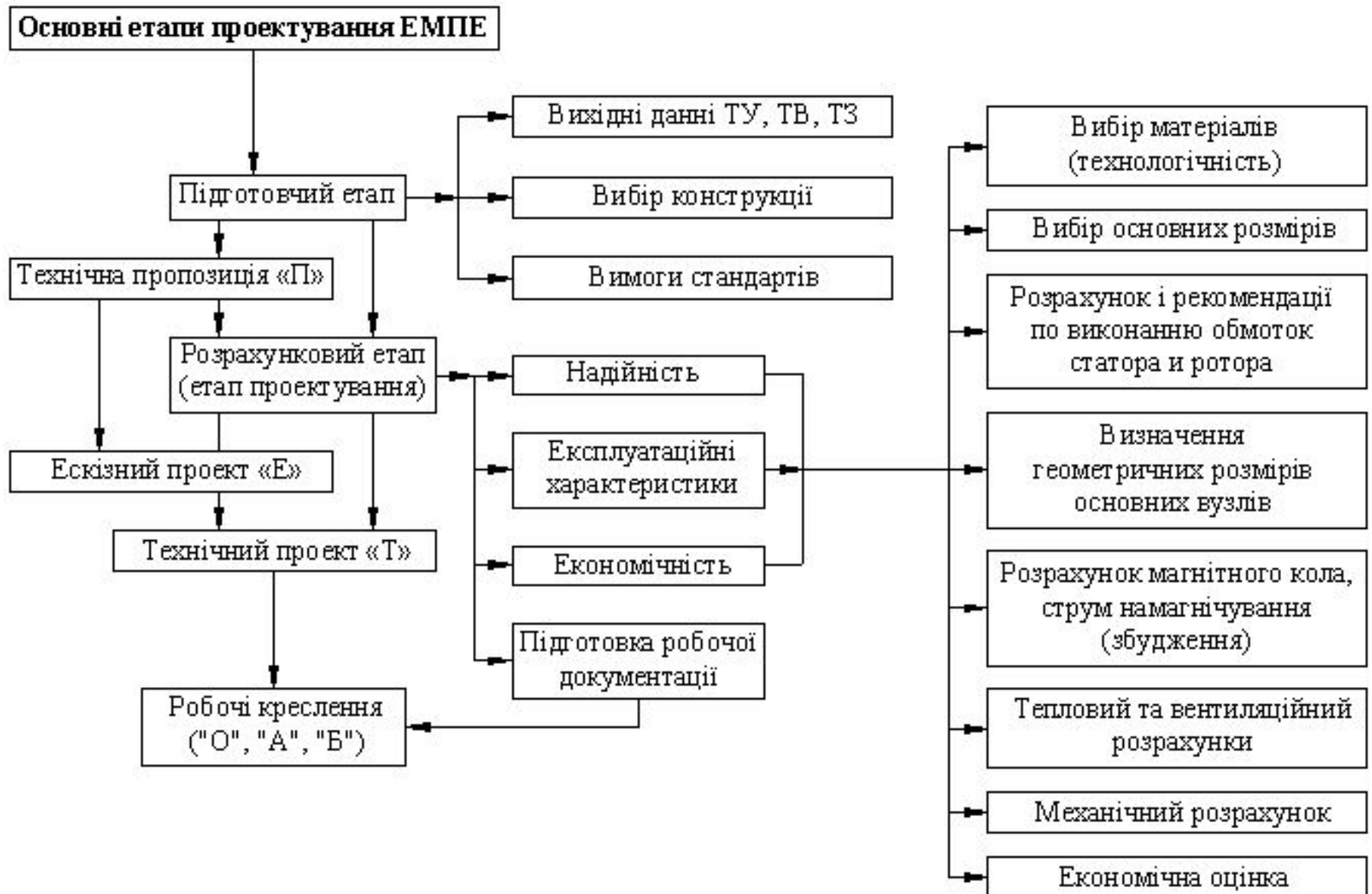
- технічне завдання;
- технічна пропозиція;
- ескізний проект;
- технічний проект;
- розробка робочої документації:
  - а) для експериментального зразка (партії);
  - б) для установлювальних серій;
  - в) для серійного або масового виробництва.

# Етапи проектування

## Складання робочої конструкторської документації



# Етапи проектування



# Головні вимоги до ЕМПЕ, що проектується

Не звертаючи увагу на різноманітність конструкторських форм, призначень і особливостей експлуатації ЕМПЕ, вони повинні задовольняти таким головним вимогам:

- мати високу надійність
  - електрична міцність*
  - термічна міцність*
  - механічна міцність*
- мати необхідні експлуатаційні характеристики
  - КПД,  $\cos\varphi$ ,  $U_k$ ,  $P_k$*
- бути максимально економічними
  - економічність проектування*
  - економічність виробництва*
  - економічність в експлуатації*



# Головні вимоги до ЕМПЕ, що проектується

Висока надійність забезпечується достатніми електричною, термічною і механічною міцностями.

Електрична міцність властивість ізоляційних матеріалів забезпечувати свої функції при заданих діапазонах змін напруги обмоток (електромагнітний розрахунок)

Термічна міцність – здатність ЕМПЕ забезпечувати надійну роботу у допустимих межах нагріву окремих частин конструкції (тепловий розрахунок)

Механічна міцність – здатність конструкції витримати, не виходячи з ладу, механічні зусилля у межах робочих і аварійних режимів (механічний розрахунок)

Вимоги до надійності ЕМПЕ є головними, або «ЖОРСТКИМИ»

# Головні вимоги до ЕМПЕ, що проектується

Спроектований і виготовлений ЕМПЕ повинен відповідати експлуатаційним вимогам, викладеними в технічному завданні.

Для силових трансформаторів це:  
втрати короткого замикання,  
напруга короткого замикання,  
втрати і струм неробочого ходу,  
струм неробочого ходу,

.....



Для електричних машин це:  
коефіцієнт корисної дії,  
коефіцієнт навантаження,  
величина махового моменту,  
ступінь захисту,

.....



Експлуатаційні характеристики забезпечуються шляхом багатоваріантних розрахунків в процесі проектування, високою точністю виготовлення і культурою експлуатації.

# Головні вимоги до ЕМПЕ, що проектується

Максимальна економічність ЕМПЕ – враховує:

- економічність проектування:
  - застосування сучасних систем автоматизованого проектування,
  - використання новітніх методик розрахунку,
  - висока кваліфікація проектанта.
- економічність виготовлення (зниженні собівартості в процесі виготовлення):
  - застосування автоматизації і механізації виробничих процесів,
  - економія матеріалів (безвідходні і маловідходні технології),
  - підвищення коефіцієнта використання виробничого обладнання,
  - максимальна уніфікація.
- економічність в експлуатації:
  - енергетичні показники (ККД,  $\cos\varphi$ ),
  - зниження втрат на планові ремонти,
  - зменшення втрат на сплату обслуговуючого персоналу,
  - застосування автоматичних систем управління,
  - культура обслуговування і експлуатації.

# Розрахункова (електромагнітна) потужність

Електромагнітна потужність це внутрішня потужність, яка за допомогою електромагнітного поля передається через повітряний проміжок в обертових (або нерухомих) електричних машинах, а в трансформаторах через магнітопровід.

Для визначення електромагнітної потужності через вихідні данні вводять коефіцієнт

# Розрахункова (електромагнітна) потужність

Для силових двообмоткових трансформаторів

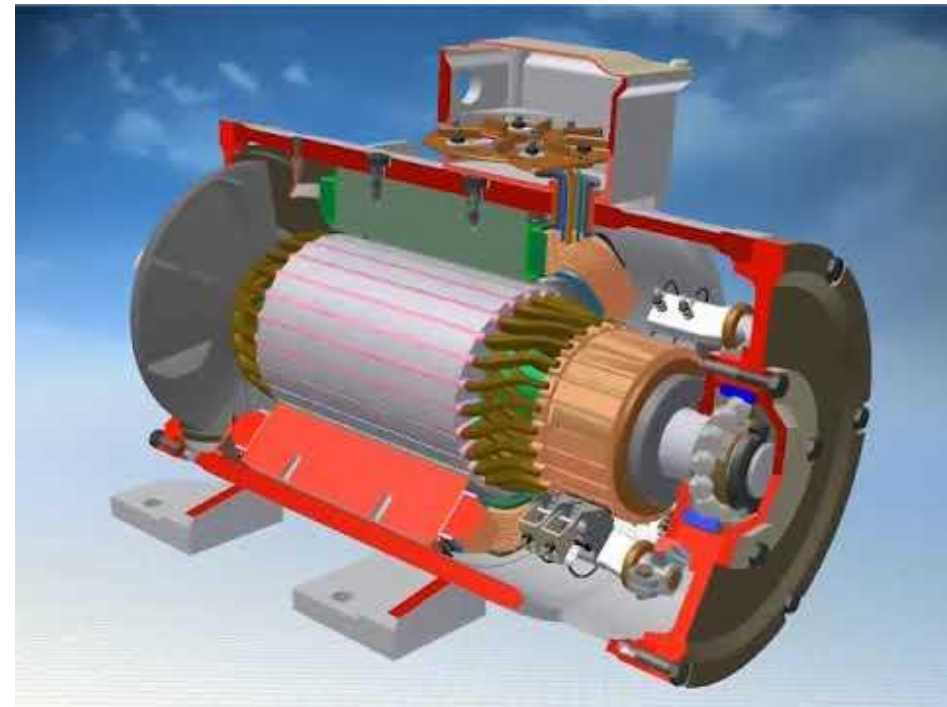


# Розрахункова (електромагнітна) потужність

## Електромагнітна потужність машин постійного струму

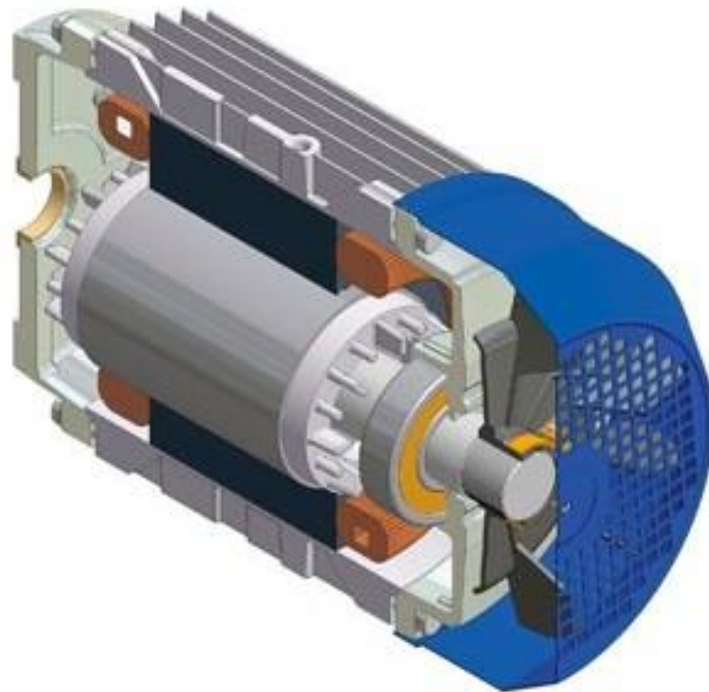
Для двигунів постійного струму

Для генераторів постійного струму



# Розрахункова (електромагнітна) потужність

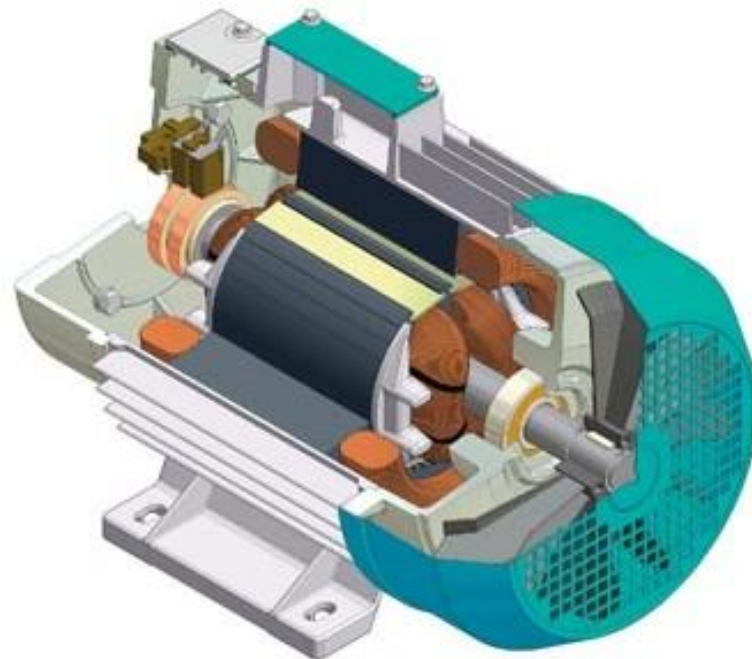
Електромагнітна потужність асинхронного двигуна



# Розрахункова (електромагнітна) потужність

Електромагнітна потужність синхронного двигуна

Електромагнітна потужність синхронного генератора

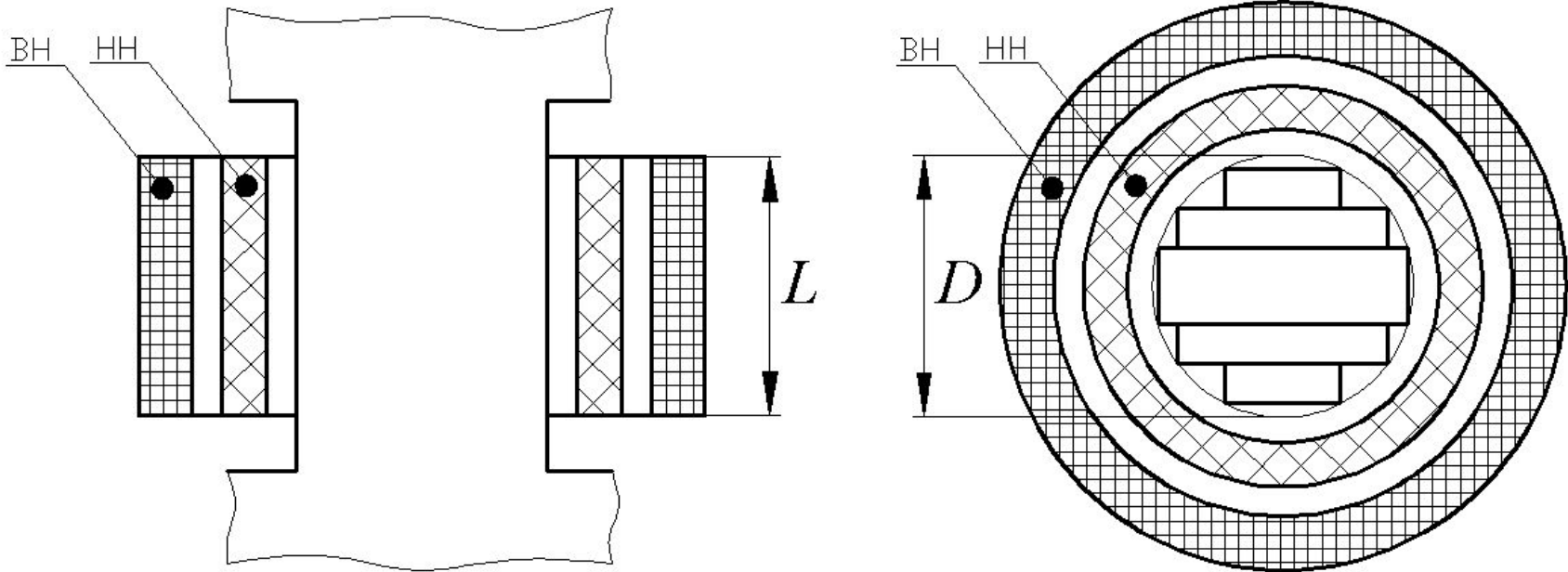




# Основні розміри ЕМПЕ

## В трансформаторах

- діаметр стрижня;
- висота обмотки.



# Основні розміри ЕМПЕ

## В трансформаторах

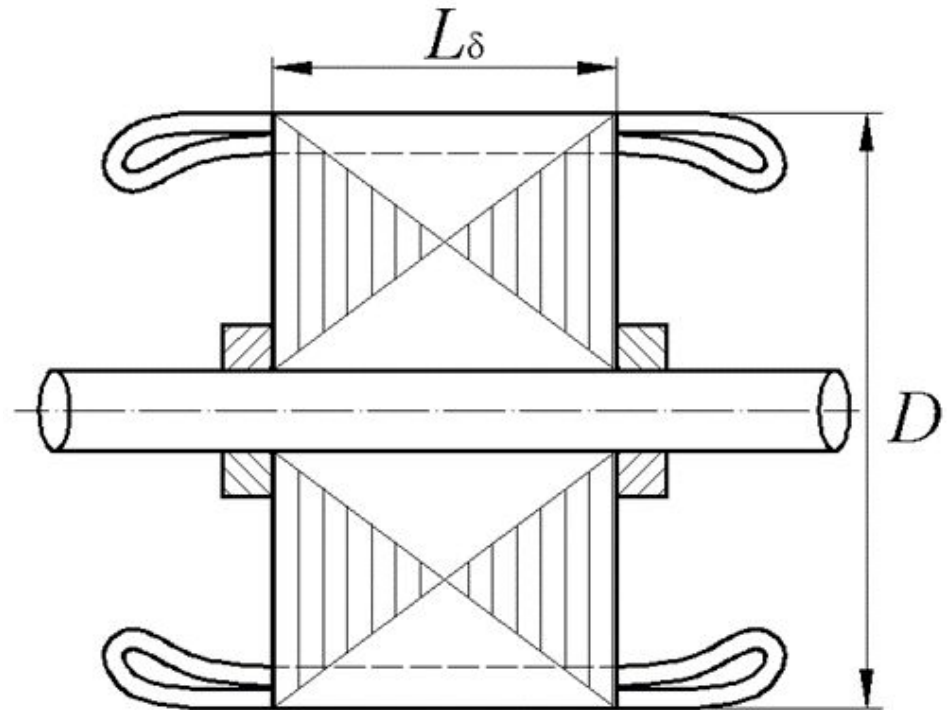
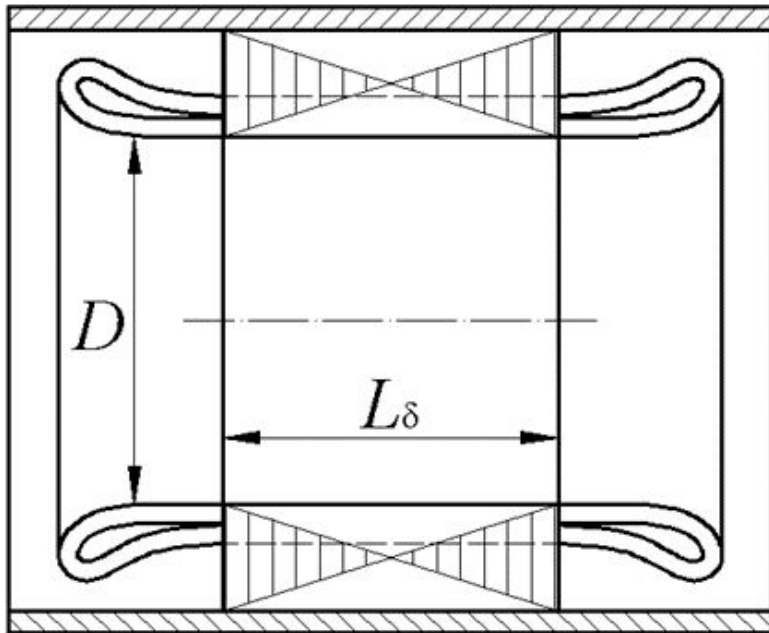
- діаметр стрижня;
- висота обмотки.



# Основні розміри ЕМПЕ

## В обертових електричних машинах

- діаметр якоря;
- розрахункова довжина магнітопроводу якоря.



# Основні розміри ЕМПЕ

**В електричних машинах змінного струму**

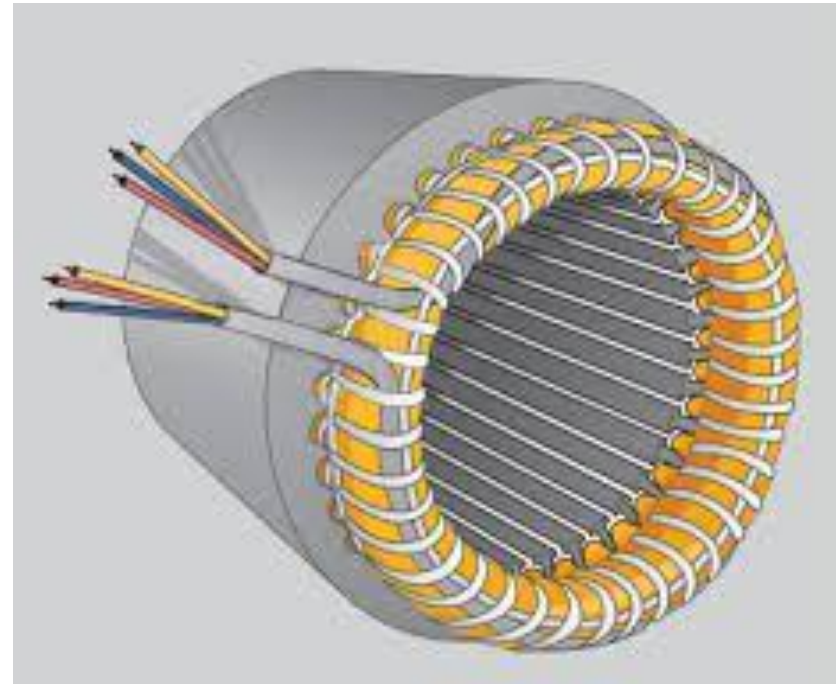
- діаметр якоря;
- розрахункова довжина магнітопроводу якоря.



# Основні розміри ЕМПЕ

## В електричних машинах змінного струму

- діаметр якоря;
- розрахункова довжина магнітопроводу якоря.



# Основні розміри ЕМПЕ

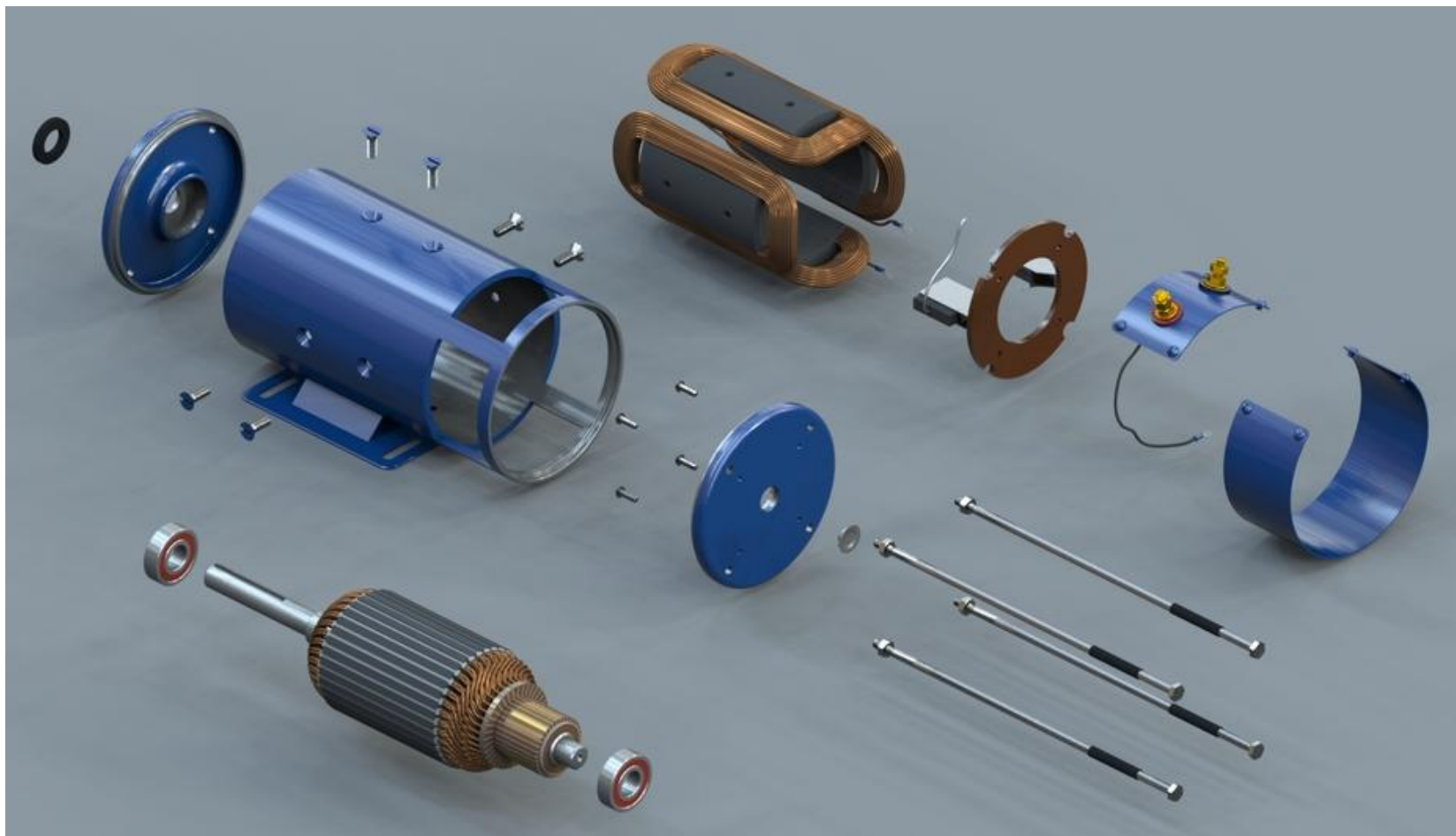
- В електричних машинах постійного струму**
- діаметр якоря;
  - розрахункова довжина магнітопроводу якоря.



# Основні розміри ЕМПЕ

**В електричних машинах постійного струму**

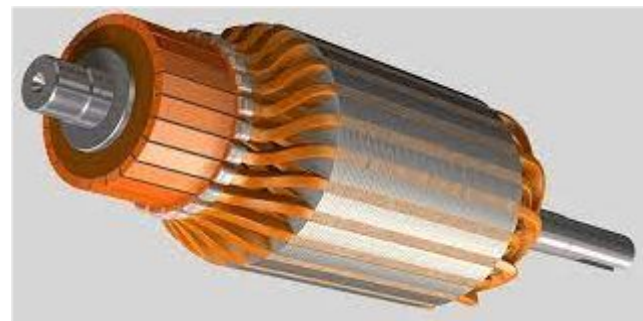
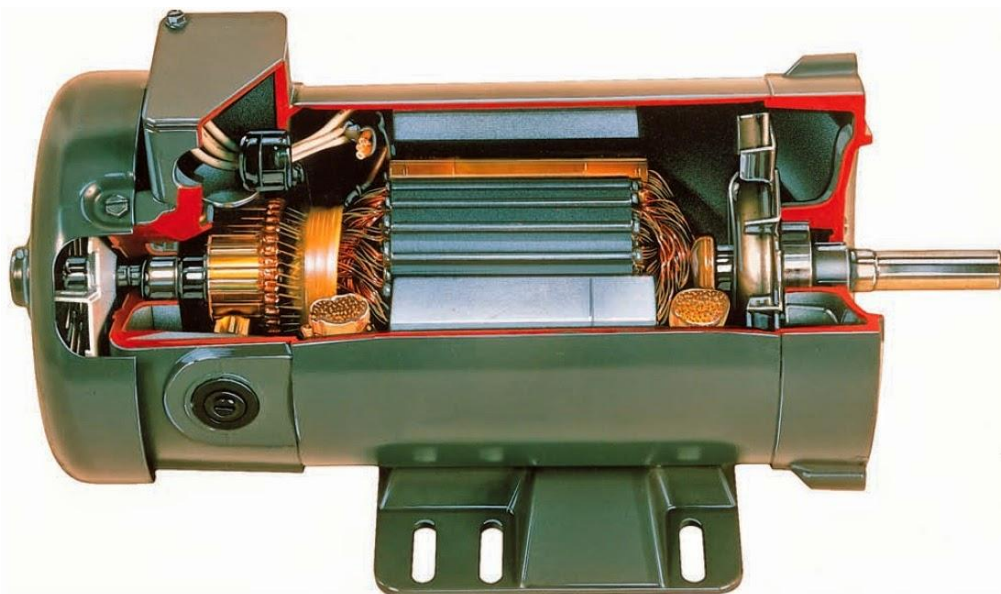
- діаметр якоря;
- розрахункова довжина магнітопроводу якоря.



# Основні розміри ЕМПЕ

**В електричних машинах постійного струму**

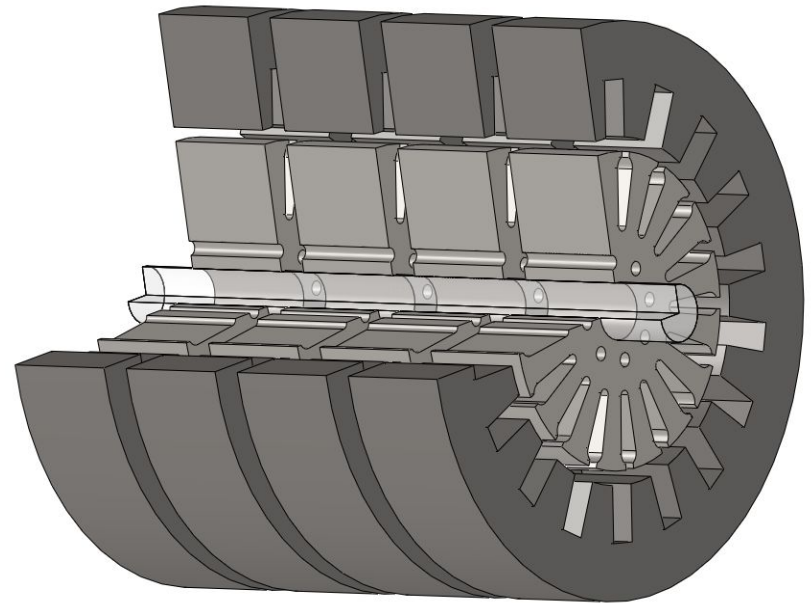
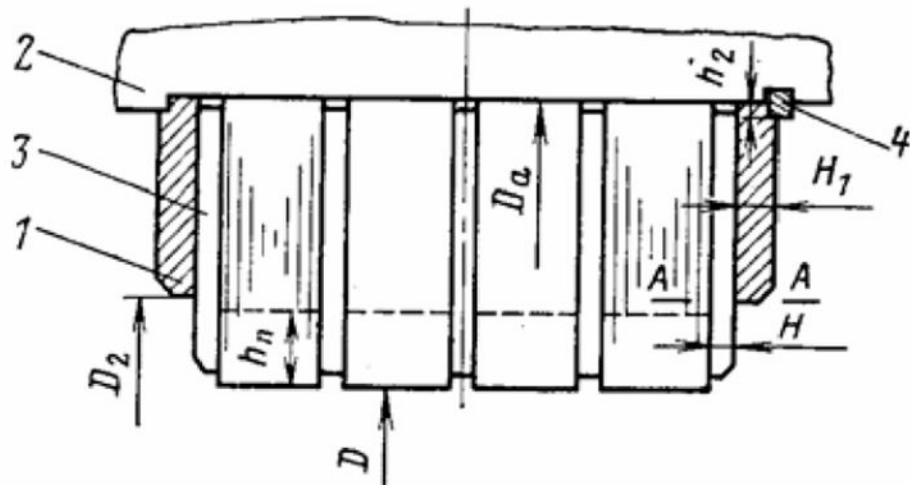
- діаметр якоря;
- розрахункова довжина магнітопроводу якоря.





# Основні розміри ЕМПЕ

## Сегментований магнітопровід



$$L_{\delta} = L - 0,5 \cdot n_{\kappa} \cdot b_{\kappa}$$

# Основні розміри ЕМПЕ

## Сегментований магнітопровід



# Електромагнітні навантаження ЕМПЕ

Під електромагнітними навантаженнями розуміють:

- лінійне (електричне) навантаження;
- індукцію (магнітне навантаження) у стрижні трансформатора та індукцію у повітряному проміжку для електричних машин.

## Електричне навантаження

силових масляних трансформаторах

при проектуванні трансформаторів користуються густиною струму  
в трансформаторах з алюмінієвими обмотками  
в трансформаторах з мідними обмотками

при охолодженні повітрям ЕМ

при форсованому охолодженні ЕМ

## Магнітне навантаження

трансформатори з гарячекатаної сталі

трансформатори з холоднокатаної сталі

електричні машини загального призначення

# Електромагнітні навантаження ЕМПЕ

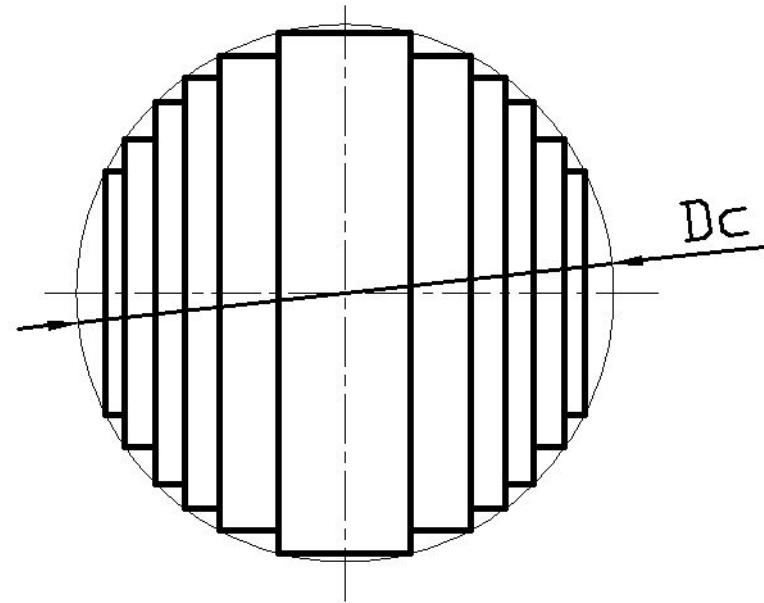
Величини електромагнітних навантажень впливають:

- на основні розміри ЕМПЕ при заданій електромагнітній потужності, тобто на масу активних і конструкційних матеріалів; чим більше значення лінійного навантаження і індукції, або їх добуток, тим менші основні розміри, менші витрати активних матеріалів, або, як прийнято вважати, збільшується використання активних матеріалів;
- на величину втрат, котрі збільшуються зі збільшенням лінійного навантаження і індукції, це впливає на величину ККД й нагрівання ЕМПЕ;
- на величини та співвідношення параметрів

значення цього співвідношення важливо при забезпеченні експлуатаційних властивостей.

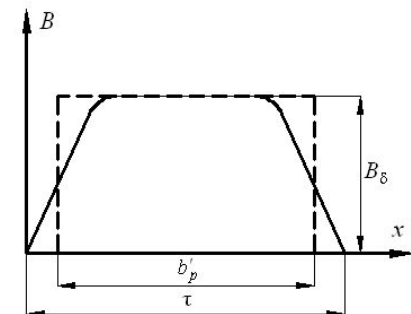
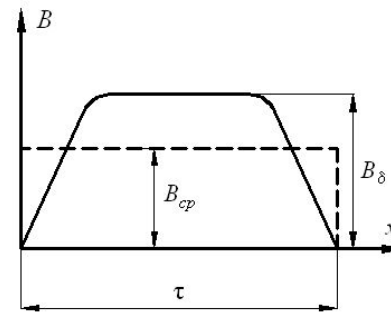
# Зв'язок електромагнітної потужності ЕМПЕ з основними розмірами, електромагнітних навантажень і частотою

## Трансформатори



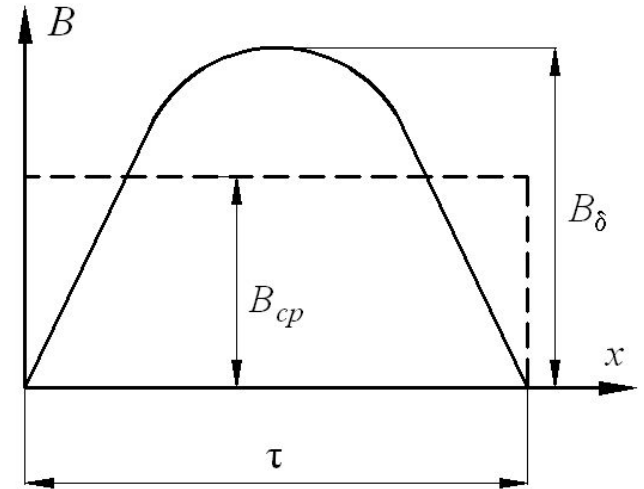
# Зв'язок електромагнітної потужності ЕМПЕ з основними розмірами, електромагнітних навантажень і частотою

## Машини постійного струму



# Зв'язок електромагнітної потужності ЕМПЕ з основними розмірами, електромагнітних навантажень і частотою

## Машина змінного струму



# Приклад визначення основних розмірів трансформатора

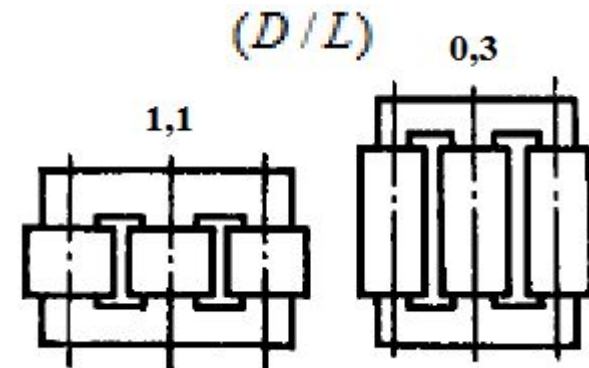
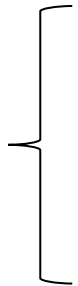
## Початкові дані

Повна потужність 1000 кВА

Напруга ВН 10000 В

Напруга НН 380 В

Частота 50 Гц





# Узагальнений вираз для ЕРС обмоток ЕМПЕ

ЕРС фази обмотки трансформатора

ЕРС якірної (статорної) обмотки машин змінного струму

ЕРС якірної обмотки машин постійного струму

$$E_a = 4 \cdot \Phi \cdot f_a \cdot w_a$$

Загальний вираз ЕРС ЕМПЕ

- для трансформатора

- для машин змінного струму

- для машин постійного струму

# Узагальнений вираз для електромагнітної потужності ЕМПЕ

Для трансформатора

Для машин змінного струму

Для машин постійного струму

Загальний вираз

$$S_{EM} = K_{Sem} \cdot (D^2 \cdot L_{\delta}) \cdot (A \cdot B) \cdot f_1$$

- для трансформатора

- для машин змінного струму

- для машин постійного струму