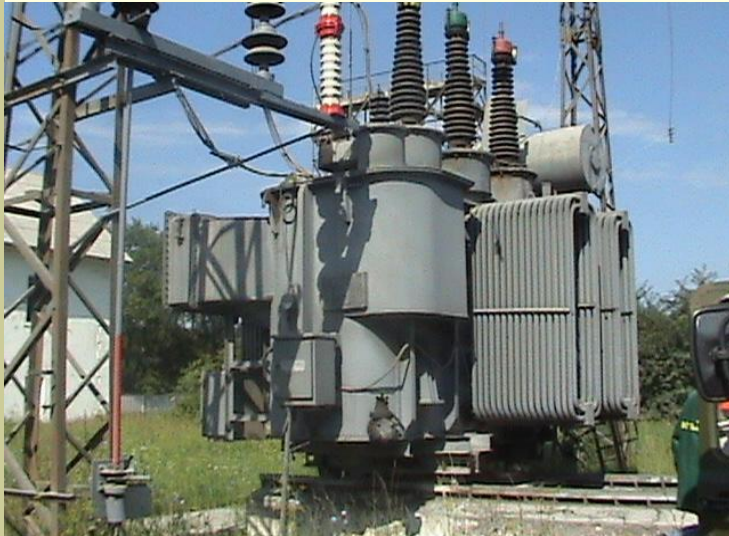


# Трансформатори силові

---



# Призначення



Щоб передати електроенергію на великі відстані будують ЛЕП і з'єднують ними райони виробництва і споживачів. При цьому частина електроенергії втрачається на нагрівання проводів.

Доцільно передавати на великі відстані електроенергію більш високої напруги (330, 750кВ), струми при цьому будуть меншими, відповідно менші втрати ел.ен.

Генератори виробляють напругу не більше 20-24кВ і таку напругу можна передавати на невеликі відстані.

Біля генератора ставлять підвищувальний трансформатор, а біля споживачів – понижувальний.

# Трансформатори



- По призначенню трансформатори поділяються на:
  - - силові;
  - - вимірювальні;
  - - спеціального призначення.

# Визначення

---

- Трансформатором називають статичний електромагнітний пристрій, який має дві і більше індуктивно зв'язаних обмоток і призначені для перетворення змінного струму однієї напруги в змінний струм іншої напруги при незмінній частоті.

# Силові трансформатори

Типи силових трансформаторів



# Кількість фаз

---

- По кількості фаз поділяються на однофазні і трифазні.
- Найбільш поширені трифазні – втрати в них на 12-15% менші ніж у однофазних.
- Однофазні трансформатори застосовують коли неможливо виготовити необхідної потужності трансформатор або затруднене його транспортування.

# Кількість обмоток

---

По кількості обмоток на фазу поділяються на двообмоткові і триобмоткові.

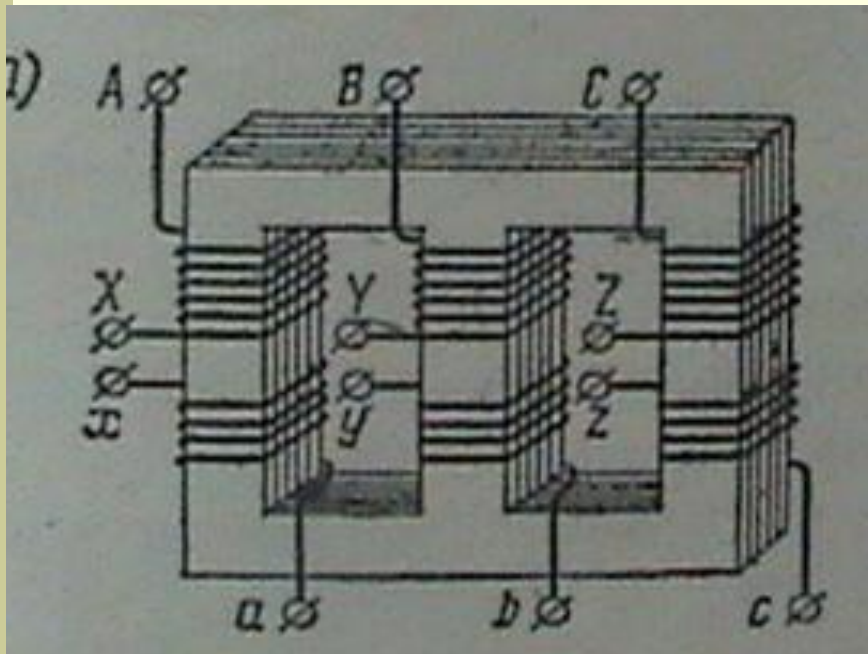
Відповідно обмотки позначаються:

**ВН** – обмотка високої напруги;

**СН** – обмотка середньої напруги;

**НН** - обмотка низької напруги.

# Триобмотковий трансформатор



Триобмотковий трансформатор має три класи напруги. Наприклад 110/35/10. На кожний стержень магнітопроводу добавляють по одній обмотці.



# Розщеплена обмотка НН

---

- Обмотка НН може бути розщеплена, тобто складатися із двох і більше паралельних обмоток ізольованих одна від одної і від магнітопроводу.

# Клас напруги трансформаторів

---

- У “Львівобленерго” є наступні номінальні класи напруги трансформаторів:
- 6; 10; 35; 110; 220; 330; 750кВ
  
- Наприклад:
- 6/0,4 кВ;
- 10/0,4 кВ;
- 110/35/10 кВ

# Маркування

- Кожний трансформатор має своє буквене позначення:
- А – Автотрансформатор;
- Число фаз (для однофазних – О; трифазних – Т);
- Тип охолодження:
  - С – сухі;
  - М – масляні;
  - Д – масляне з повітряним піддувом;
  - ДЦ – масляне з повітряним піддувом і примусовою циркуляцією масла;
  - Ц – масляно – водяне охолодження з примусовою циркуляцією масла.

# Маркування

---

- Т – триобмотковий трансформатор (якщо двообмотковий – ніякої букви не ставиться);
- Р – для трансформаторів з розщепленими обмотками;
- Н – наявність на одній з обмоток регування під напругою (РПН);
- Г – грозостійке виконання ізоляції;
- З - без розширювача.

# Маркування

---











- За буквенним позначенням вказують номінальну потужність і клас напруги обмотки ВН.
- Приклад:
- ТМН-10000/110-67;
  - Потужність 10000кВА, номінальна напруга обмотки ВН 110кВ;
- ТДТН-16000/110-67;
- ТДН-10000/35-67.

# Силові трансформатори

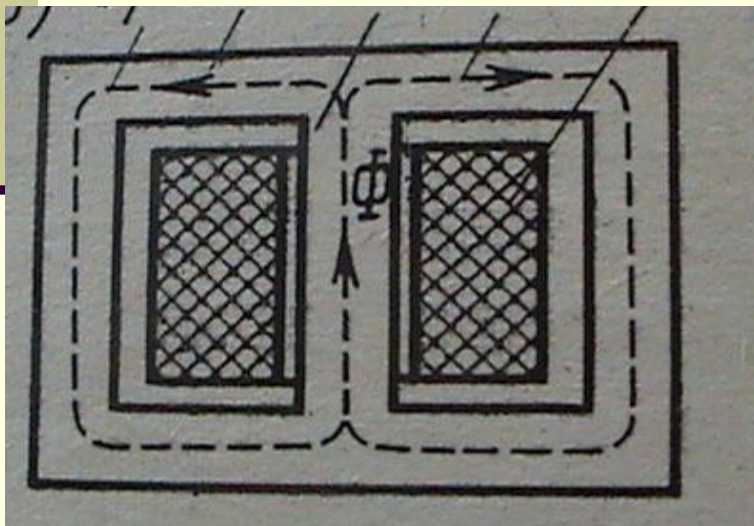
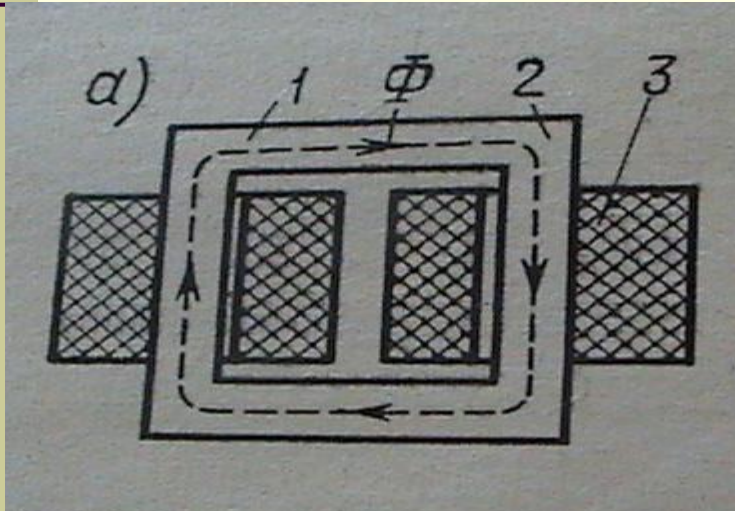
Будова



## Трансформатори складаються:

- обмотки;
-  магнітопровід;
-  бак;
-  вводи;
-  розширювач;
-  пристрої регулювання напруги;
-  охолоджуюча система;
-  термосифонний фільтр;
-  повітроочисний фільтр;
-  вихлопна труба;
-  контрольні і захисні прилади та ін.

# Магнітна система



- В залежності від конфігурації магнітної системи трансформатори поділяються на стержневі і броневі.
- Частина магнітопроводу де розміщують обмотки називається - *стержень*,
- де нема обмотки – *ярмо*.
- Відповідно є верхнє і нижнє ярмо.

# Магнітопровід

---

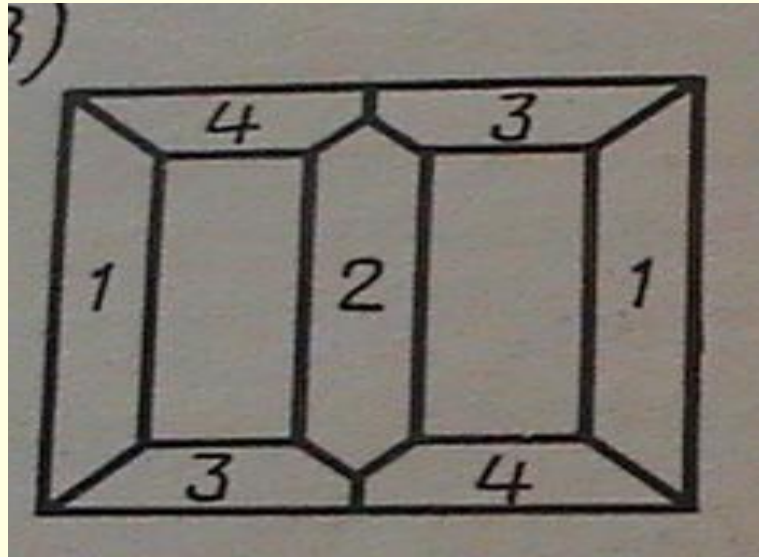
- Через складнішу технологію виготовлення і більші затрати матеріалу трансформатори броневого типу застосовують тільки для деяких типів, всі силові трансформатори виготовляються стержневого типу. Вони мають кращі умови охолодження і меншу масу ніж броневі.

# Магнітопровід

---

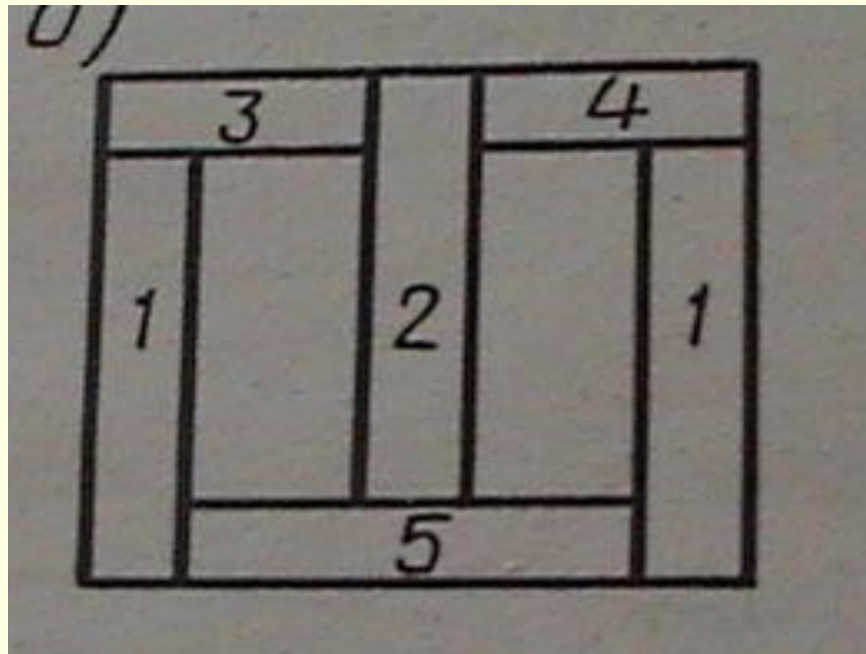
■ Магнітопровід збирають із окремих тонких пластин електротехнічної сталі, товщиною 0,35-0,5 мм. Пластини ізолюються одна відносно одної, після чого їх стягують болтами які знаходяться в ізолювальних втулках. Така конструкція використовується для зменшення вихрових струмів які наводяться в магнітопроводі змінним магнітним потоком.

# Стиковий магнітопровід



- По способу зборки розрізняють стикові і шихтовані магнітопроводи.
- В стикових магнітопроводах стержні і ярма збираються і кріпляться окремо, пізніше встановлюються в стик і з'єднуються стяжними шпильками.

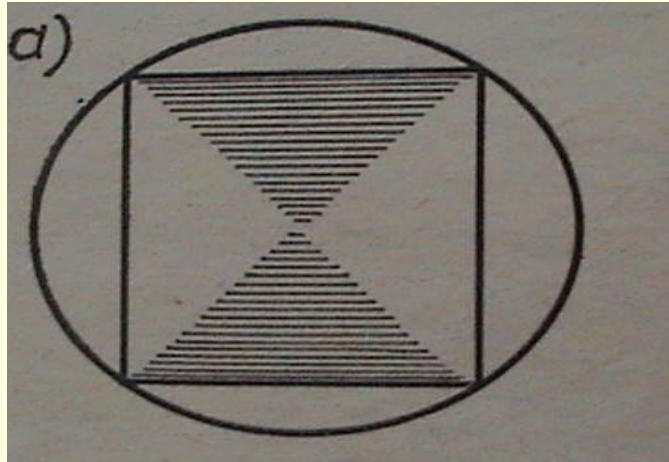
# Шихтований магнітопровід



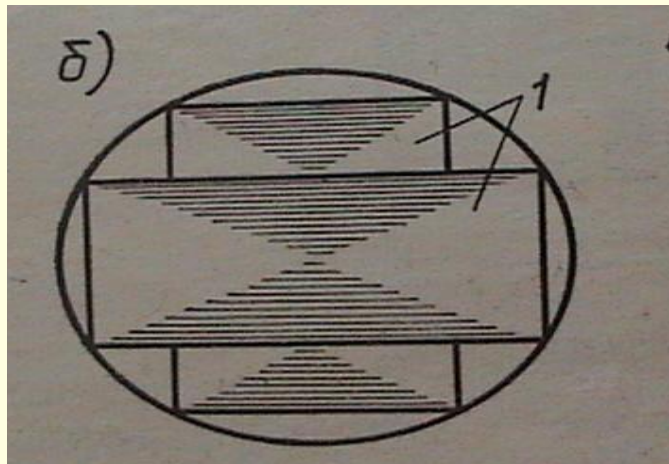
- В шихтованих магнітопроводах ярма і стержні збираються як єдину конструкцію із взаємним перекриттям листів у місці стиковки.
- Шихтовані магнітопроводи мають значно менший магнітний опір, ніж стикові, тому стикові застосовують дуже рідко.



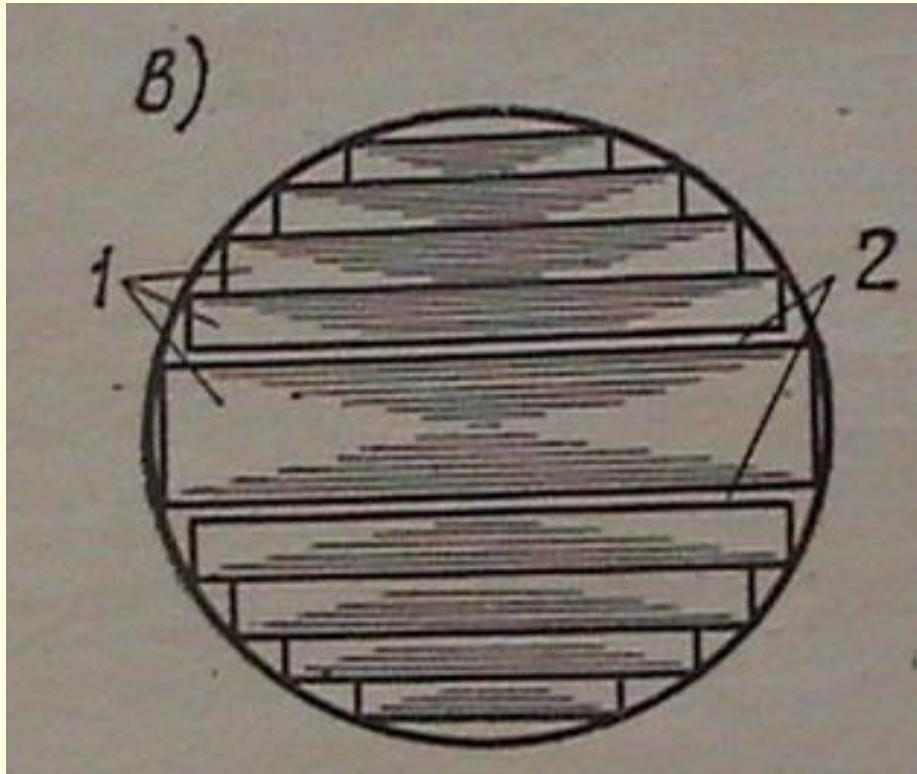
# Магнітопровід



Стержні магнітопроводу невеликої потужності мають прямокутну або хрестовидну форму січення.

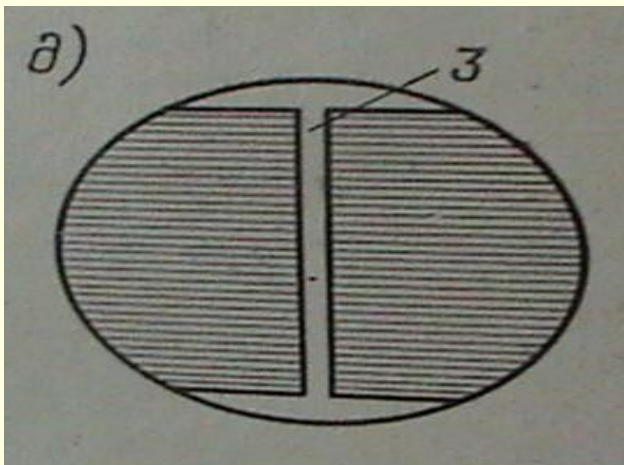
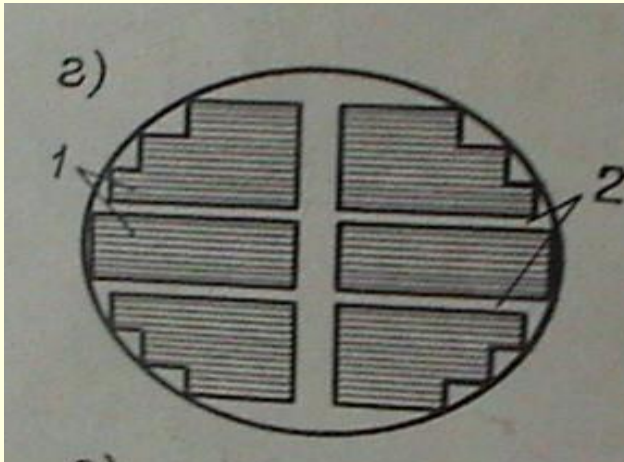


# Магнітопровід



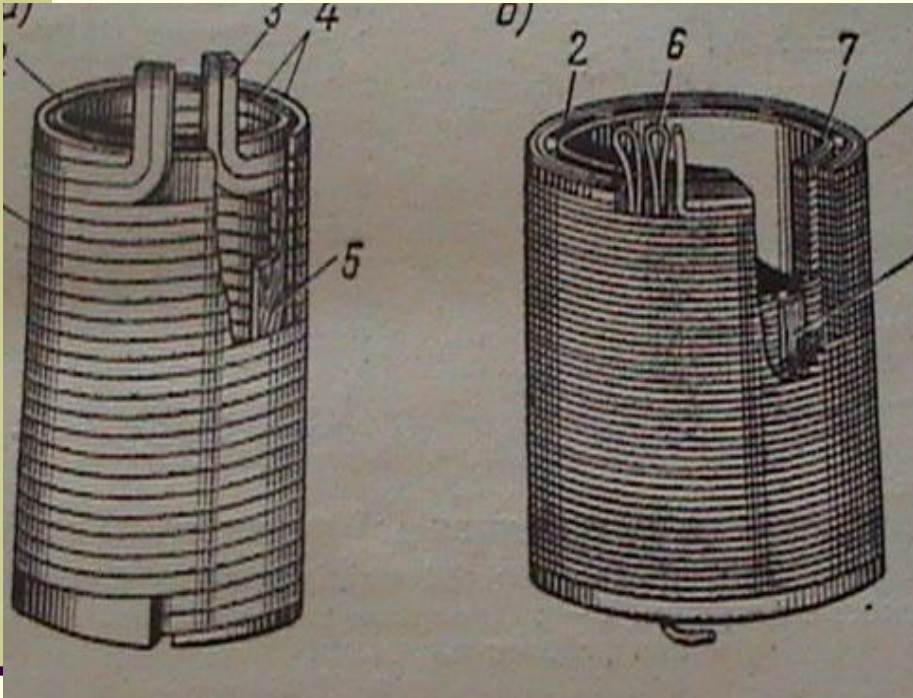
- У більш потужних трансформаторів – ступінчасте, по формі приближене до круга.
- Така форма дозволяє зменшити довжину витків обмоток, а відповідно зменшити розхід обмоткових проводів.

# Магнітопровід



- В однофазних трансформаторах великої потужності розміщують охолоджуючі канали. Канал ділить магнітопровід на дві окремі “рами”. Така конструкція не тільки покращує умови охолодження а й полегшує збірку магнітопроводу.

# Обмотки



- *Обмотки* виготовляються з алюмінію або міді, круглого або прямокутного сечення.
- Мідь має малий електричний опір, легко піддається пайці, механічно міцна, що забезпечує широке застосування міді.
- Алюміній має більший питомий опір але є дешевшим матеріалом ніж мідь.

# Ізоляція обмоток

---

- Обмотки ізолюються від магнітопровода і від інших обмоток – *головна* ізоляція, і ізолюються відносно інших витків в даній обмотці – *повздожня* ізоляція.

# Обмотки

---

- В сучасних трансформаторах первинну і вторинну обмотку не розміщують різних стержнях магнітопроводу, а стараються розмістити для кращого магнітного зв'язку поближче одна до одної.
- При цьому на кожному стержні розміщують обидві обмотки: або одну поверх іншу – концентричні, або у вигляді декількох дискових катушок, які чергуються по висоті стержня -дискові.



# Обмотки

---

- В концентричному типі обмоток зверху завжди розміщують обмотку ВН, а біля магнітопроводу обмотку СН або НН.
- В середині обмотки між шарами обмотки прокладаються ізоляційні планки які утворюють масляні канали, що забезпечують відвід тепла від обмотки.

# Обмотки

---

- Для ізоляції застосовують кабельний папір, локотканину, електрокартон, склотканину. Для підвищення механічної міцності обмотку просочують ізоляційним лаком і запікають.
- Сердечник з обмотками опускається в бак трансформатора, в бак заливається трансформаторне масло яке служить для ізоляції і охолодження трансформатора.

# Бак трансформатора

---

- Баки трансформаторів виготовляють переважно овальної форми, зварної конструкції. Для збільшення охолоджуючої поверхні до бака приварюють радіатори.
- Всередині бака приварені стійки або скоби за допомогою яких кріпиться до бака виємна частина.

# Бак трансформатора



В нижній частині стінок бака розміщені заземляючі болти, кран для відбору і зливу проби масла, і на дні бака розміщена пробка для зливу залишків масла.

На стінках бака приварені 4 підйомних гачки для підйому трансформатора.

- До стінки бака приварений термосифонний фільтр.

# Бак трансформатора



- Бак трансформатора, всередині якого розміщена активна частина, представляє собою сталевий резервуар, переважно овальної форми.
- Конструкція і розмір баку змінюється в залежності від потужності.

# Бак трансформатора



- Для трансформаторів малої потужності не треба великої поверхні для відводу тепла, тому бак має гладку поверхню. У трансформаторів потужністю 63кВА і більше недостатньо гладкої поверхні, там приварюють круглі труби – радіатори.



# Радіатори

---

- Більшість радіаторів є знімними, щоб при монтажі можна було перевезти. В конструкцію бака входить багато ущільнювачів – маслостійка резина, щоб запобігти течі масла.

# Розширювач



Над баком розміщений **розширювач**, встановлюється на трансформатори 25кВА і більше. Масло при нагріванні розширюється, а при охолодженні зменшується і для того щоб активна частина трансформатора була заповнена маслом призначений розширювач, а також щоб масло не стикалося із повітрям і не окислювалось.

# Розширювач



- Для продовження терміну служби масла в розширювачі встроюють повітряний фільтр, який очищає повітря, що попадає в розширювач. Фільтр заповнений силікагелем. На розширювачі є масловказівник, щоб контролювати в експлуатації рівень масла.

# Азотний захист

---

- Для більш надійного захисту трансформаторного масла від окиснення в трансформаторах більшої потужності в розширювачі роблять “подушку” із інертного газу (азоту-азотний захист), яка захищає трансформаторне масло від контакту з повітря.

# Вводи



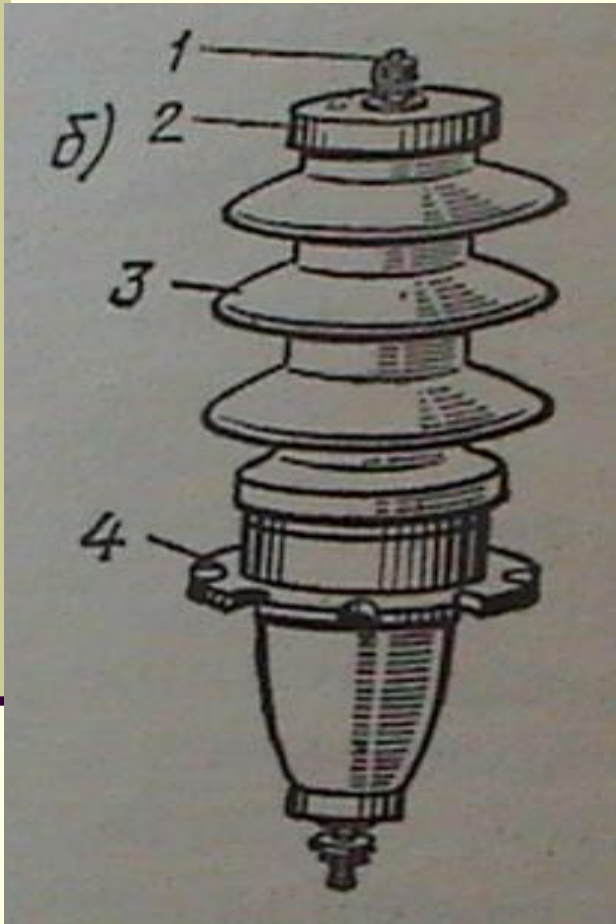
- В трансформаторах кінці обмоток виводять на зовні через прохідні ізолятори. Прокідні ізолятори разом з струмоведучим стержнем називається вводом.

# Вводи

---

- Простір всередині ізолятора заповнений у вводі 6-10кВ повітрям, 35кВ і вище трансформаторним маслом.
- Вводи трансформатора мають знімну конструкцію, що дозволяє проводити заміну вводів без знімання кришки.

# Вводи



- Кількість ребер у ізоляторі ввода залежить від класу напруги трансформатора. Ребра збільшують відстань між струмоведучим стержнем і корпусом по поверхні ізолятора і зменшується ймовірність поверхневого розряду під час дощу.



# Термосифонний і адсорбційний фільтр



- Термосифонний і адсорбційний фільтр служать для безперервної очистки трансформаторного масла. Вони заповнюються силікагелем (як правило марка КСК з діаметром зерен 3-7мм), який має властивість поглинати вологу і продукти старіння трансформаторного масла.



# Повітряний фільтр



- Застосовується для очищення повітря , яке поступає в трансформатор або негерметичний ввід.
- Якість силікагеля перевіряють по кольору. Сухий індикаторний силікагель має голубий колір. З ростом зволоженості силікагель набуває розового кольору.

# Вихлопна труба



- Призначена для викиду масла і газів при внутрішньому пошкодженні масла, при утворенні значного тиску всередині трансформатора.
- Завдяки вихлопній трубі запобігається розрив бака.

# Вимірювальні і захисні прилади

---

- Щоб здійснювати контроль за рівнем і температурою масла, масляні трансформатори обладнують вказівником рівня і температури масла.
- Вказівник рівня масла встановлений на розширювачі, а вказівник температури на кришці бака.

# Вимірювальні і захисні прилади

---

- В трансформаторах потужністю до 1000кВА для вимірювання температури застосовують ртутний термометр, а для більшої потужності застосовують спеціальні електричні термосигналізатори.
- Трансформатори типу Д, ДЦ і НД обладнуються двома термосигналізаторами, один для вимірювання температури верхніх шарів масла, другий для автоматичного управління процесом дуття.

# Вимірювальні і захисні прилади

---

- Трансформатори потужністю 10 000кВА і більше мають ще й реле низького рівня масла, яке знаходиться в розширювач і сигналізує про зниження рівня масла і автоматично відключає трансформатор.

# Газовий захист



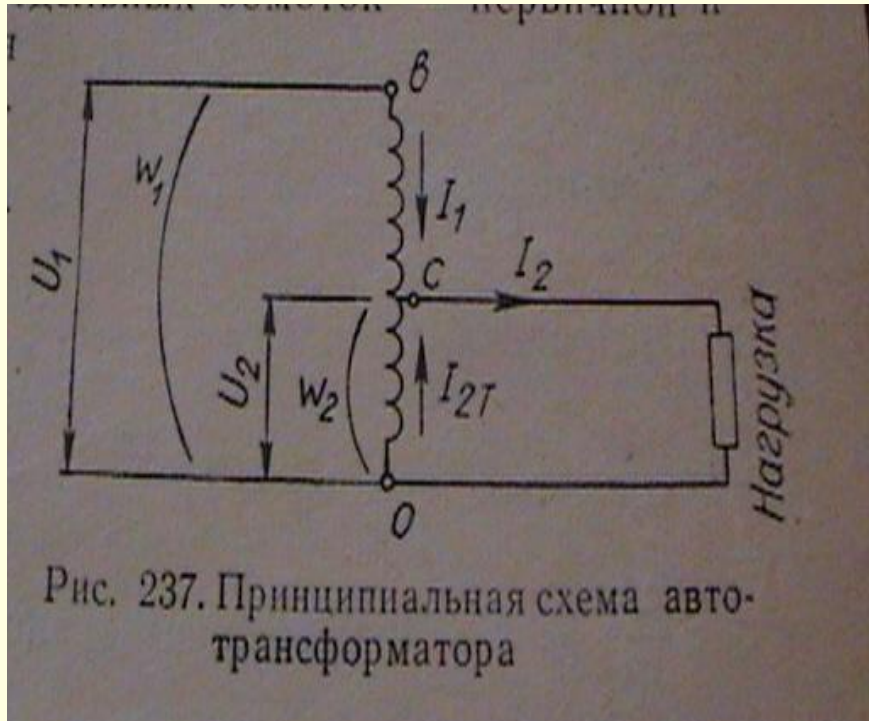
- Для захисту від можливої аварії трансформатори потужністю 1000кВА і більше встановлюють газове реле, яке встановлюється в трубопроводі між основним баком і розширювачем.
- При значному виділенні вибухонебезпечних газів, які виникають в результаті розкладання масла, реле автоматично виключає трансформатор, не дозволяючи виникнути аварії.



# Автотрансформатори



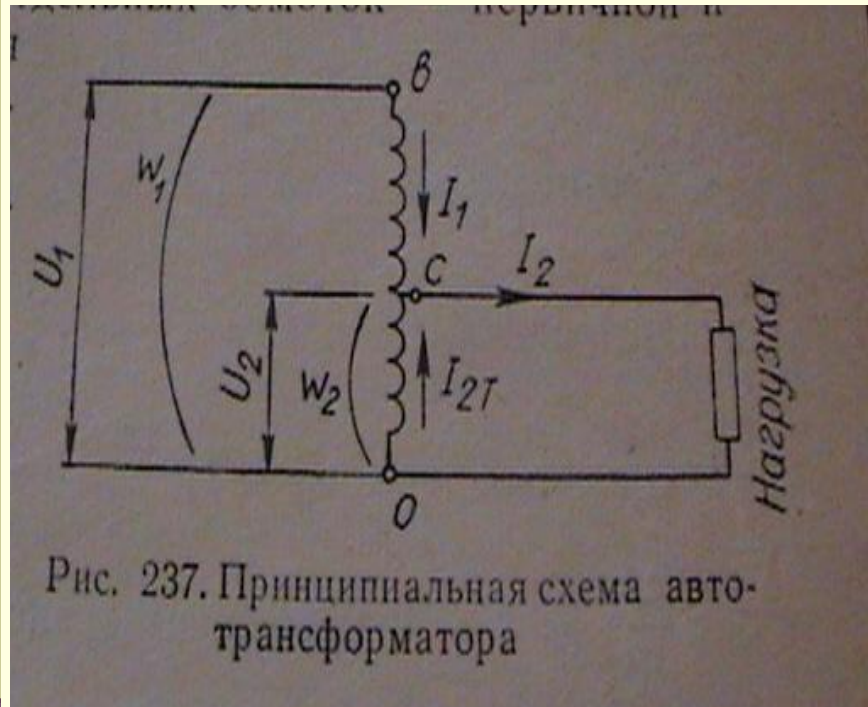
# Автотрансформатор



- Порівнюючи автотрансформатор з двообмотковим трансформатором, можна відмітити різницю в їх конструкції.
- Замість двох окремих обмоток в трансформаторі первинної і вторинної у автотрансформатора є одна спільна обмотка.

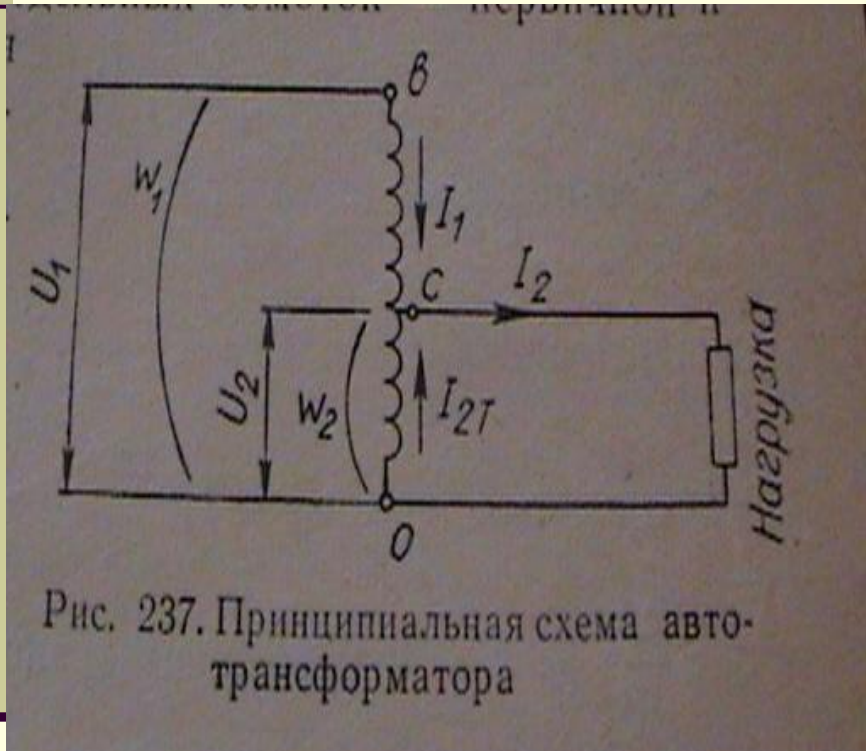


# Автотрансформатор



До крайніх виводів обмоток b-0 підводиться напруга  $U_1$ , яка рівномірно розподіляється між витками  $w_1$  обмотки. Якщо взяти виводи c-0 від крайньої точки обмотки і до середньої то напруга  $U_2$  буде пропорційна кількості витків  $w_2$ .

# Автотрансформатор



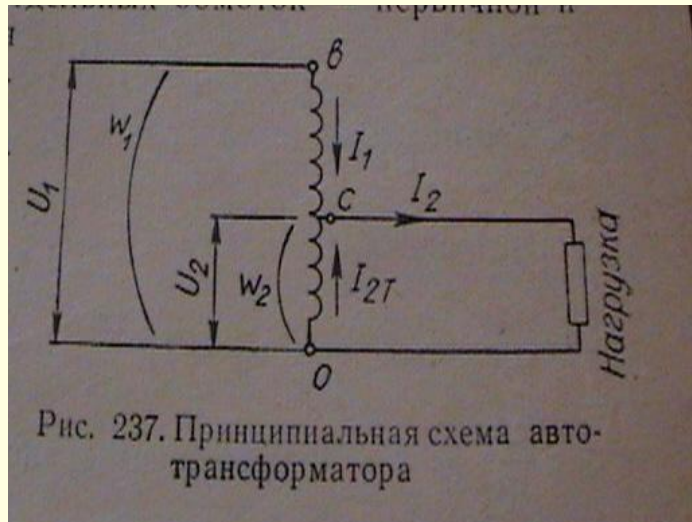
- Автотрансформатор по своїй будові нагадує подільник напруги.
- Вторинна обмотка складає частину первинної і має з нею безпосередній електричний зв'язок.

# Автотрансформатор



- Ділянка обмотки с-о, яка є одночасно вторинною обмоткою і частиною первинною обмоткою, називається **спільною обмоткою**, а ділянка б-с називається **послідовною обмоткою**.

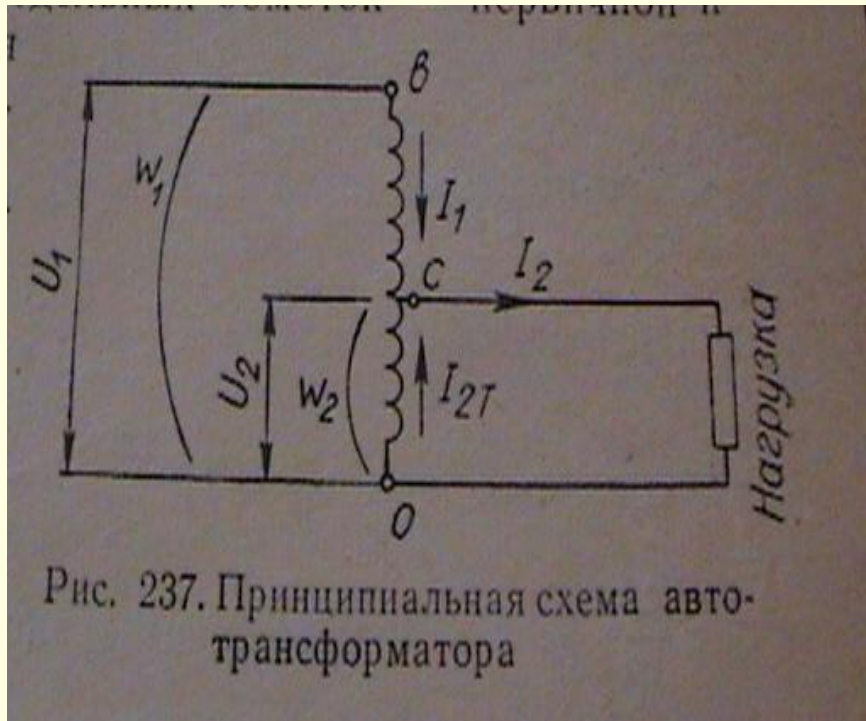
# Коефіцієнт трансформації



- Коефіцієнт трансформації автотрансформатора рівний:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

# Прохідна і типова потужність



- В автотрансформаторі розрізняють прохідну потужність
- $S = U_1 I_1$
- і типову (розрахункову) потужність
- $S_T = U_2 (I_2 - I_1)$

# Коефіцієнт вигідності

---

- Відношення типової потужності до номінальної називається коефіцієнтом вигідності автотрансформатора.

$$a = \frac{S_T}{S_{НОМ}}$$

# Коефіцієнт вигідності

- У формулу  $a = S_T / S_{HOM}$  можна підставити значення і через коефіцієнт трансформації отримаємо:

$$S_T = a \cdot S_{HOM} = \left(1 - \frac{1}{K_{TP}}\right) \cdot S_{HOM}$$

$$a = \left(1 - \frac{1}{K_{TP}}\right)$$

# Коефіцієнт вигідності

---

- Приклад: Необхідно передати потужність 120МВА із мережі 220кВ в мережу 110кВ. Визначити для АТ типову потужність?
- Коефіцієнт трансформації:  $K=220/110=2$
- Коефіцієнт вигідності  $a= (1-1/2)=0,5$
- Типова потужність АТ:  $S_T=120 \cdot 0,5=60\text{МВА}$

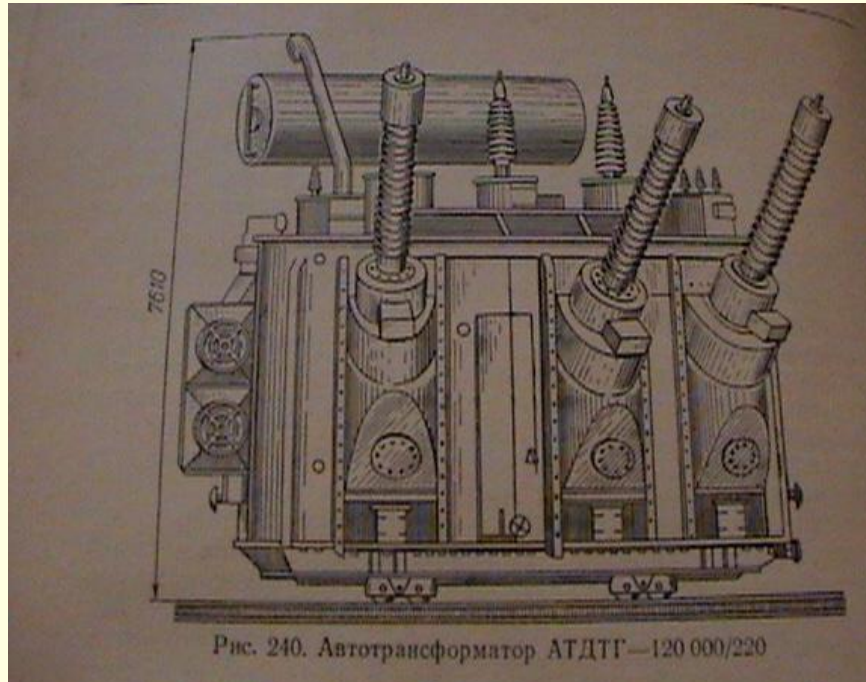


# Коефіцієнт вигідності

---

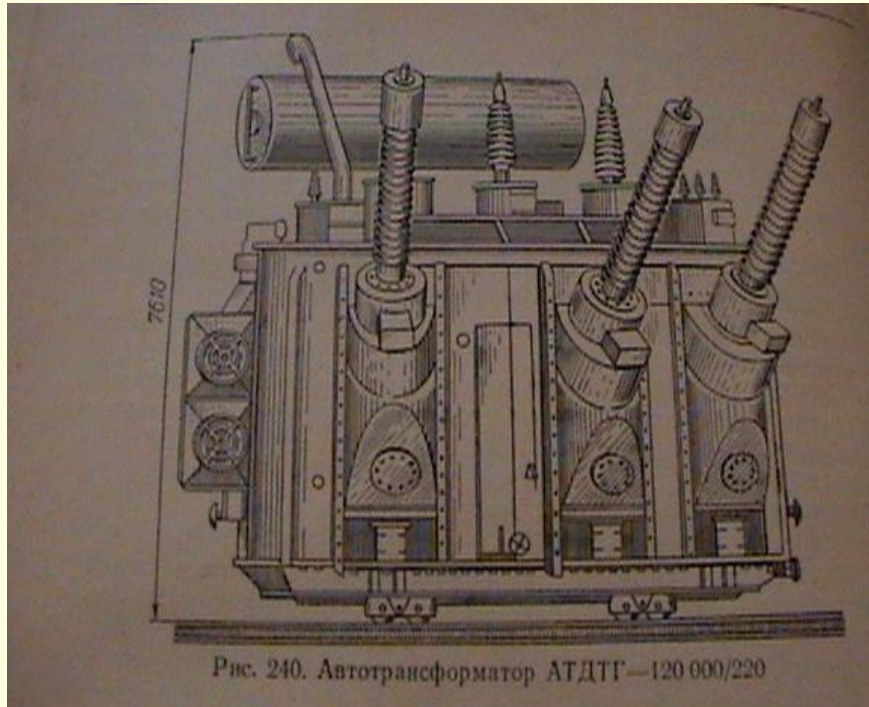
- Як видно із прикладу, тільки половина потужності буде передаватися в мережу 110кВ електромагнітним перетворенням і використання автотрансформатора на 120МВА дозволяє розрахувати його на 60МВА, тобто на його типову потужність.
- У випадку застосування трансформатора для цієї мережі його необхідно розраховувати на 120МВА.

# Коефіцієнт вигідності



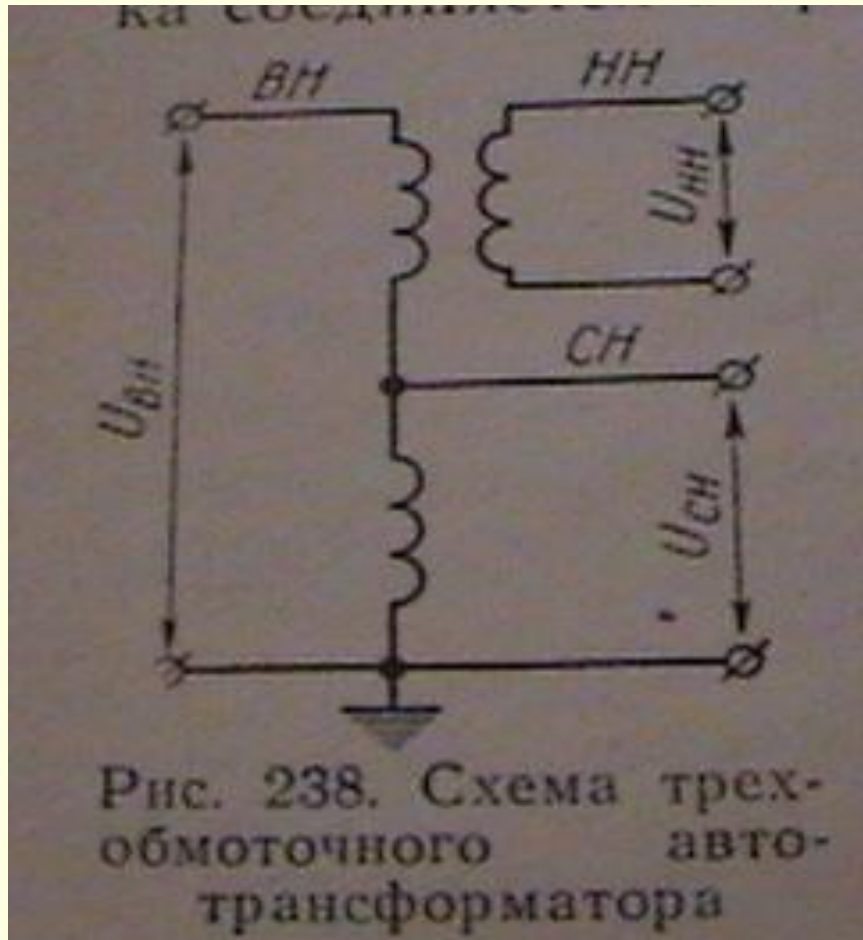
■ Таким чином автотрансформатор має такі переваги перед трансформатором: меншу вагу, розмір і розхід активних матеріалів (електротехнічної сталі, обмоткових провідників), менші втрати електричної енергії в обмотках і магнітопроводі, а відповідно і коефіцієнт корисної дії більший.

# Автотрансформатор



- Трифазні і однофазні автотрансформатори ставлять на великі напруги і великі потужності.
- Їх широко застосовують на напругу 110, 220, 330, 500кВ.

# Автотрансформатор



- Потужні силові автотрансформатори переважно будують так, щоб одна з обмоток (НН) мала електромагнітний зв'язок (як у трансформатора), а інші (ВН-СН) мала електричний (автотрансформаторний зв'язок).

# Силові трансформатори

Системи охолодження

# Охолодження трансформаторів




---

- В процесі роботи відбувається нагрівання активних частин трансформатора – обмоток і сердечника.
- Призначення охолоджуючої системи не допустити перегрів окремих частин трансформатора.

# Системи охолодження

---

В залежності від системи охолодження трансформатори поділяються на:

-  сухі;
-  масляні;
-  із заповненими негорючим рідким діелектриком.

# Сухі трансформатори

---

- С – природне повітряне при відкритому виконанні;
- СЗ - природне повітряне при закритому виконанні;
- СГ – при герметизованому виконанні;
- СД – повітряне з дуттям.



# Масляні трансформатори

---

- М – природне масляне;
- Д – масляне з повітряним піддувом;
- ДЦ - масляне з повітряним піддувом і примусовою циркуляцією масла;
- Масляно-водяне охолодження:
  - МВ – з природньою циркуляцією масла;
  - Ц - з примусовою циркуляцією масла.

# Трансформатори з негорючим рідким діелектриком

---

- Трансформатори типу Н і НД.
- В таких трансформаторах застосовують синтетичні ізоляційні матеріали – совтол та інші, які мають електроізоляційні властивості і теплопровідність такі як трансформаторне масло. Трансформатори з таким охолодженням пожегобезпечні і встановлюються в закритих приміщеннях. Їх випускають потужністю 160-2500кВА на напругу 6-10кВ.

# Охолодження типу С

---

- Охолодження відбувається природною циркуляцією повітрям.
- Трансформатори типу С, СЗ, СГ, СД виготовляються потужністю до 1600кВА при напрузі до 15кВ.
- Перевагою сухих трансформаторів є їх пожежобезпечність.
- Застосовуються переважно в цехах де заборонено експлуатувати трансформаторне масло.

# Охолодження типу М



- Застосовується у трансформаторів потужністю 10 - 10000кВА. Баки таких трансформаторів є гладкі з охолоджуючими трубками – радіаторами.

# Охолодження типу Д



- Трансформатори потужністю 10000-63000кВА виконують переважно з дуттям (тип Д).
- Кожний радіатор обдувається двома вентиляторами, при цьому тепловіддача збільшується в 1,5-1,6 разів.

# Охолодження типу Д



- Застосовується у трансформаторів середньої потужності напругою 35, 110, 220кВ.
- Кожний вентилятор складається із трифазного асинхронного двигуна і лопастів.
- Включення і відключення вентиляторів відбувається вручну або автоматично.

# Охолодження типу ДЦ

---

- Масляне охолодження з дуттям і примусовою циркуляцією масла застосовується для трансформаторів потужністю 63000кВА і більше. Охолодження складається із ребристих трубок, які обдуваються ззовні вентиляторами і електронасоси.
- Електронасоси, встроєні в маслопроводи, створюють безперевну примусову циркуляцію масла через охолоджувачі.

# Охолодження типу Ц

---

- Масляно-водяне охолодження з примусовою циркуляцією масла (Ц) по принципу побудоване як в системі ДЦ, але різниця в тому , що в системі Ц є трубки по яких рухається вода. Трубки з водою знаходяться в маслі.
- Система ефективна але має великі складності в будові.



# Охолодження типу ДЦ і Ц

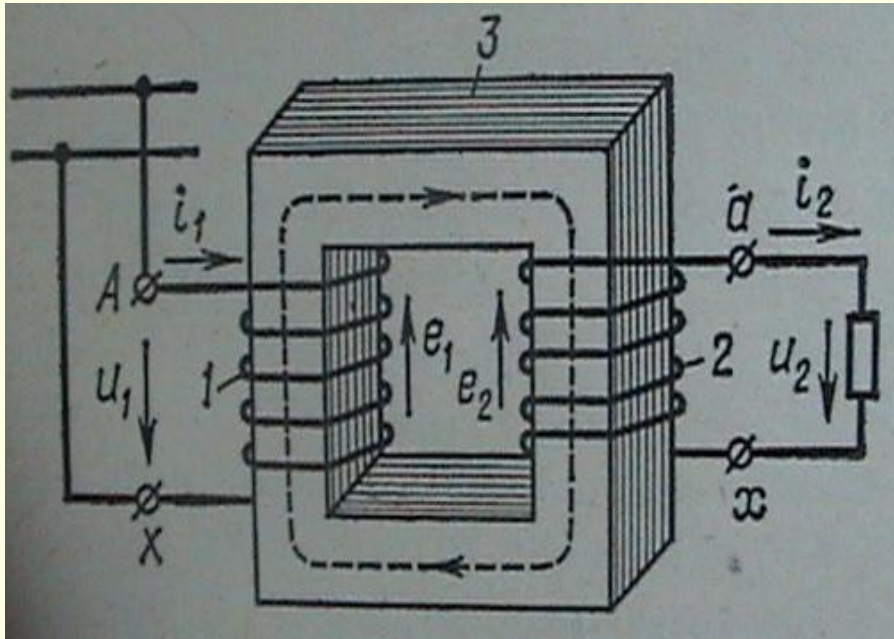
---

- На трансформаторах з системами охолодження типу ДЦ і Ц примусова циркуляція повинна включатися автоматично із вмиканням навантаженням і повинна мати сигналізацію про несправність системи охолодження.

# Силові трансформатори

Принцип дії

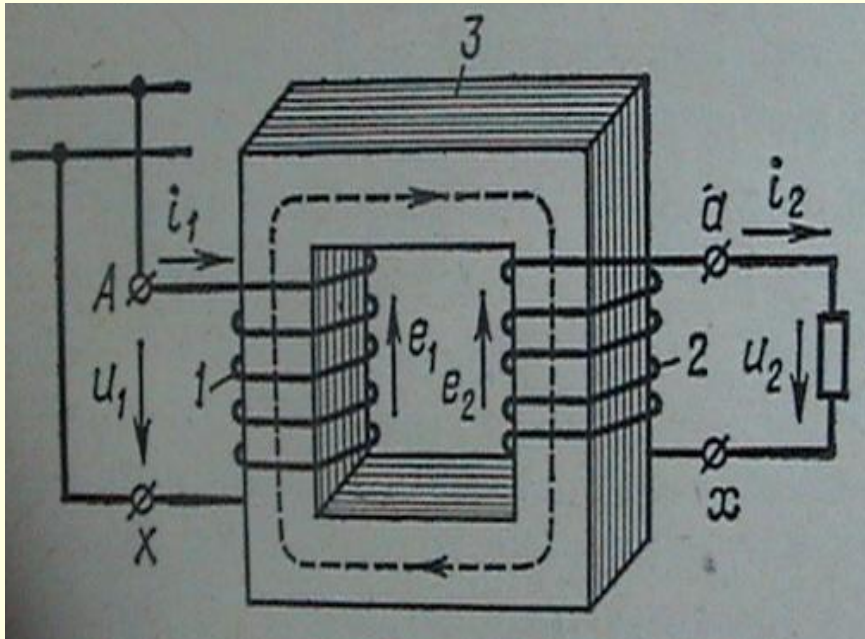
# Принцип дії трансформатора



Розглянемо роботу трансформатора на прикладі однофазного трансформатора де обмотки розміщені на різних стержнях магнітопровода.

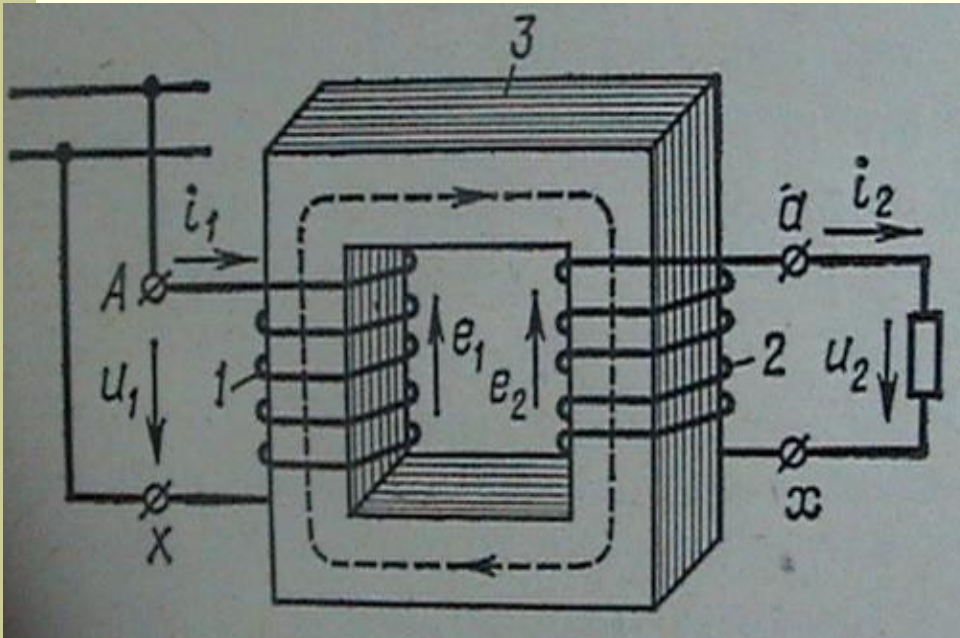
Первинна обмотка під'єднується до джерела живлення, вторинна обмотка під'єднується до навантаження.

# Принцип дії трансформатора



- Змінний струм проходячи по первинній обмотці, створює змінний магнітний потік  $\Phi$ , який замикається по магнітопроводу і зчіплюється з обома обмотками наводячи в них е.р.с  $e_1$  і  $e_2$  пропорційно кількості витків  $w_1$  і  $w_2$ .

# Принцип дії трансформатора



- ЕРС яка виникає в обох обмотках визначається:

$$e_1 = - \frac{w_1 \cdot d\Phi}{dt}$$

$$e_2 = - \frac{w_2 \cdot d\Phi}{dt}$$

- Величина ЕРС залежить від кількості витків  $w_1$  і  $w_2$ .

# Принцип дії трансформатора

- Якщо знехтувати втратами напруги в обмотках трансформатора, які не перевищують переважно 3-5% від номінальних значень.

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

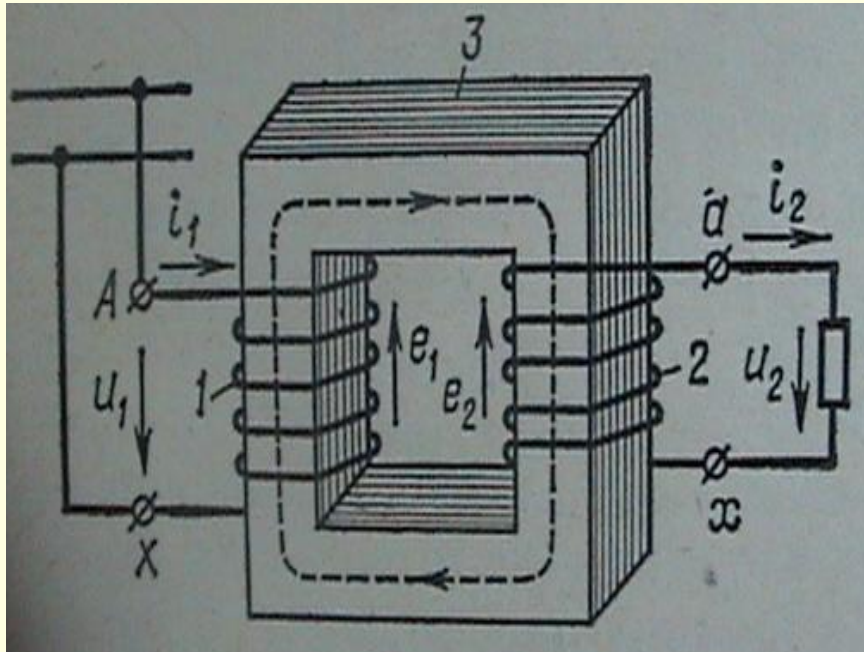
- Підбираючи кількість витків в обмотках, можна при заданій напрузі  $U_1$  отримати бажану напругу  $U_2$

# Коефіцієнт трансформації

- Відношення напруги  $U_1$  до  $U_2$  або кількості витків первинної  $w_1$  і вторинної  $w_2$  обмотки називається коефіцієнт трансформації:

$$k = \frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

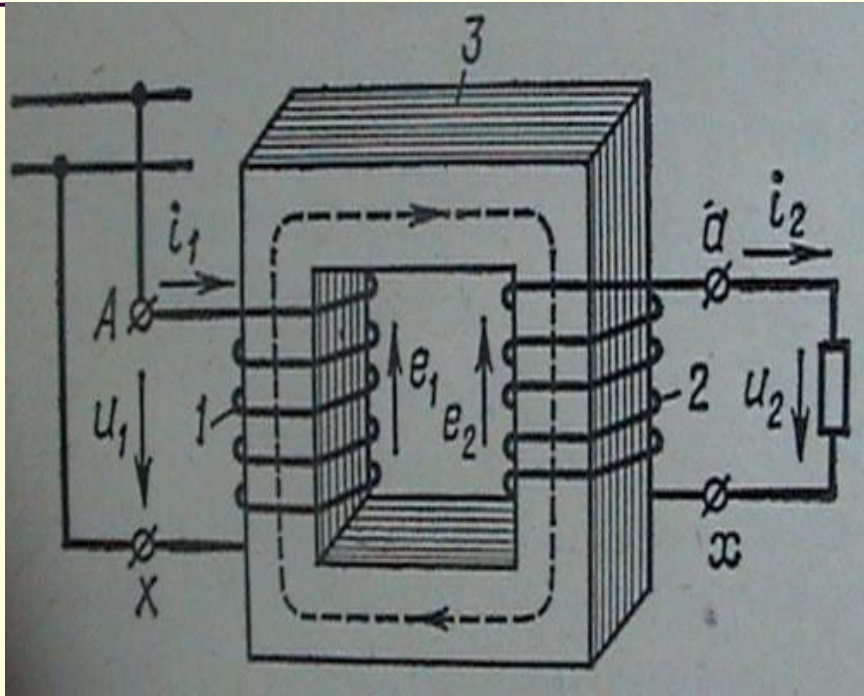
# Принцип дії трансформатора



- Обмотки трансформаторів мають між собою тільки електромагнітний зв'язок, безпосередньо електричний зв'язок відсутній. Передає енергію від одної обмотки в іншу змінний магнітний потік, який зчіплюється з усіма обмотками.

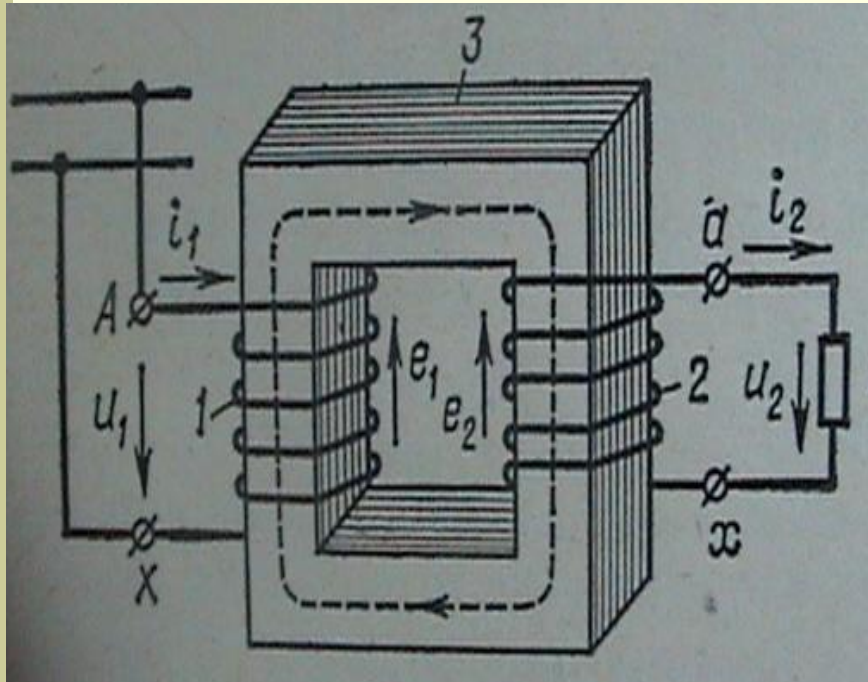


# Принцип дії трансформатора



- В трансформаторі змінюються тільки напруга і струм. Потужність залишається майже незмінною (вона зменшується за рахунок втрат в трансформаторі).

# Принцип дії трансформатора



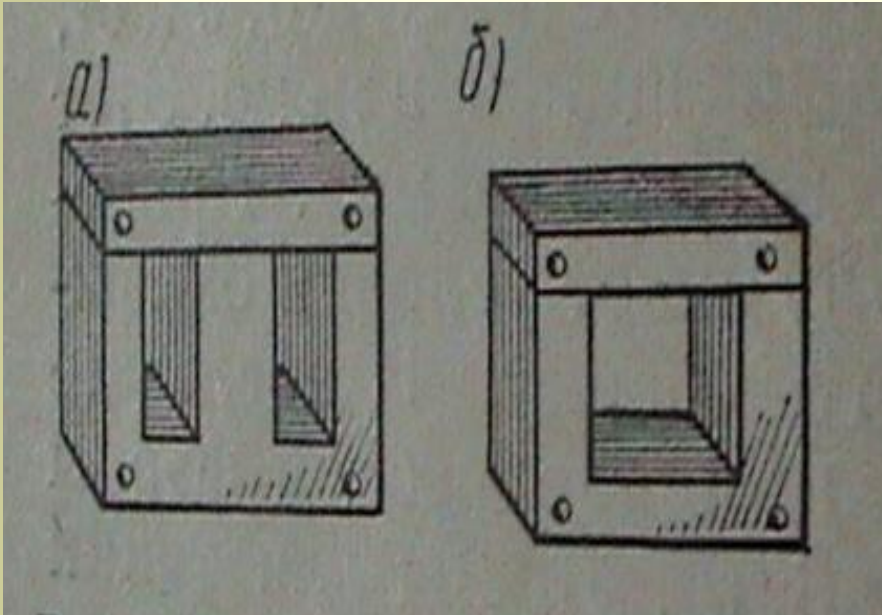
Магнітний потік  $\Phi$  замикається не лише по магнітопроводі, а й навколо магнітопроводу, навколо обмоток які створюють невеликі е.р.с. і таким чином утворюють паразитні або вихрові струми, які ідуть на нагрівання магнітопроводу, тобто на втрати.

# Вихрові струми

---

- В результаті вихрові струми замикаються по окремих пластинах а не по цілому магнітопроводі. Також в склад магнітопровода дають кремній 4-5% по вазі. Це підвищує опір магнітопровода і зменшує втрати.
- Вихрові струми – це не єдина причина нагрівання трансформатора. Іншою причиною є *перемагнічування* сталі внаслідок безперервної зміни магнітного потоку в часі і по величині.

# Магнітопровід



Суцільний магнітопровід має велике сечення, його опір невеликий і паразитні струми досягають великих значень. З вихровими струмами приходиться постійно боротися. Повністю ліквідувати неможливо, але зменшити його можна і треба. Щоб зменшити вихровий струм в трансформаторі треба збільшити опір сталі і зменшити величину е.р.с. в магнітопроводі. Тому магнітопровід роблять шихтованим.

# *Режим неробочого ходу*

- Режим неробочого ходу трансформатора – це коли до первинної обмотки подають номінальну напругу а вторинна обмотка є розімкнута.
- По первинній обмотці буде протікати струм  $I_0$ , у вторинній обмотці струм відсутній, так як вона розірвана.

# Режим неробочого ходу

- Струм  $I_0$ , який проходить по первинній обмотці і створює в магнітопроводі потік  $\Phi_0$  називається струм неробочого ходу трансформатора.
- Струм х.х. характеризує активні і реактивні втрати в магнітопроводі і залежить від його магнітних властивостей, конструкції, якості зборки і від величини магнітної індукції в магнітопроводі.
- Струм х.х. переважно складає 3-10% від струму при номінальному навантаженні.

# Втрати в трансформаторі і ККД трансформатора

- Втрати є постійні – в магнітопроводі, вони не залежать від навантаження так як залежать від магнітного потоку  $\Phi_0$ , а потік є постійний як би не змінювались струми  $I_1$  і  $I_2$ .
- Втрати в обмотках є змінні і залежать від квадрату струму і опору провідника
- $P_{\text{пр}} = I_2^2 \cdot r$
- Сумарні втрати рівні  $\Sigma P = P_{\text{пр}} + P_{\text{ст}}$ .
- ККД визначається за формулою:  $\eta = (P_2 / P_1) \cdot 100\%$
- ККД в трансформаторі є високим і складає від 80-98%.

# Режим короткого замикання

- Як відомо, в режимі навантаження вторинна обмотка трансформатора включається на опір  $r$  споживачів. У вторинній обмотці протікає струм  $I_2$  пропорційний навантаженні трансформатора. Якщо на вторинній обмотці трансформатора порушиться ізоляція, відбудеться коротке замикання на шинах НН трансформатора. Такий режим називається – режим короткого замикання трансформатора.





# Режим короткого замикання

- Первинна обмотка при цьому буде отримувати енергію і передавати у вторинну. У вторинній опір буде малий і відповідно збільшиться  $I_2$ , якщо в 100 раз зменшиться опір то відповідно струм збільшиться в 100 разів. Втрати в трансформаторі рівні  $P=I_2 \cdot r$  збільшаться в 1000 разів. При таких умовах температура обмоток за 1-2 с досягне 500-600°C і він повинен згоріти.

# Режим короткого замикання

- Але на практиці такого нема і трансформатори можуть витримувати струми к.з. більший час. Справа в тому , що в трансформаторі за рахунок потоків розсіювання є реактивний опір  $x_2$ , який обмежує струми к.з. Дослід показав, що  $x_2$  , більший від  $r_2$  трансформатора в 5-10 раз. Тому в реальності струми к.з. збільшуються не в 100 разів а в 10-20, відповідно втрати в обмотках збільшуються не в 1000 разів а в 100-400 разів. Температура обмоток досягає за 3-8 сек досягає 150-200°C

# Режим короткого замикання

- Ми бачимо, що потоки розсіювання обмежують струми к.з., але в той же час вони приносять шкоду трансформатору. Чим більше потоків розсіювання тим більші втрати потужності в трансформаторі, відповідно зменшується вторинна напруга. Потоки розсіювання створюють також вихрові струми і втрати на перемагнічування.
- Щоб потоки розсіювання не були значно великі обмотки первинну і вторинну розміщують не на різних стержнях а на одному, на певній відстані одна відносно одної. Ближче до магнітопроводу розміщена обмотка НН. Такий тип розміщення називається концентричний.

# Напруга короткого замикання

- Напруга к.з.  $u_k$  визначає величину падіння напруги в трансформаторі і характеризує повний опір його обмоток.
- $U_k$  - це напруга, при підведенні якої до одної обмотки у іншій обмотці яка заморочена на коротко протікає номінальний струм.
- Великою  $u_k$  оцінюють потоки розсіювання в трансформаторі. Виражається в процентах від номінальної.
- Збільшивши канал між обмотками можна збільшити потік розсіювання, який замикається по повітрі навколо обмоток. Відповідно збільшиться індуктивний опір в трансформаторі і збільшиться  $u_k$ . Тобто можна регулювати  $u_k$  в залежності від взаємного розміщення обмоток між собою.

■

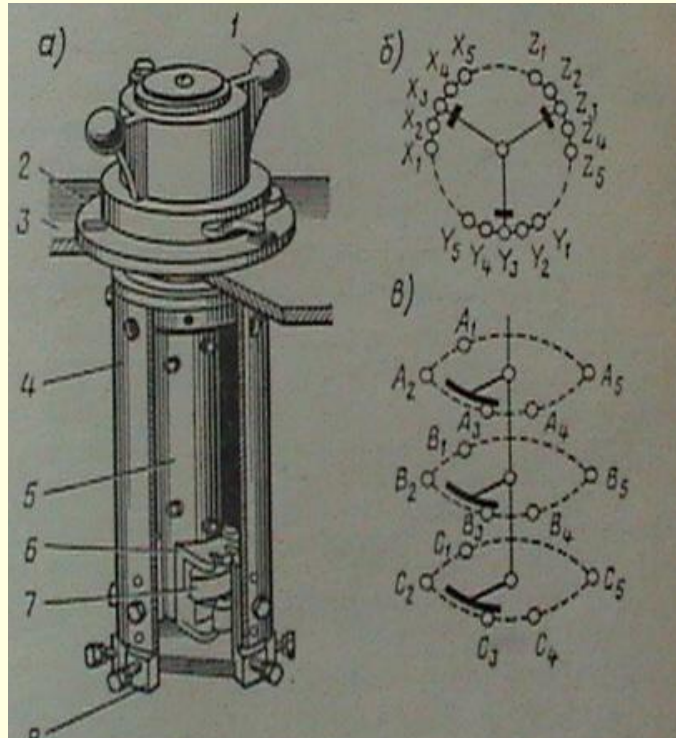
# Напруга короткого замикання

- Треба, щоб  $u_k$  було достатньо для обмеження струму к.з. і самозахисту трансформатора і в той же час щоб втрати не були значні.
- Чим вищий клас напруги і потужність в трансформаторі тим більше  $u_k$ .  $u_k$  складає 5-15% від номінальної напруги.
- В три обмотковому трансформаторі  $u_k$  визначається для якої пари обмоток при розімкнутій третій обмотці і має три значення.
- $u_k$  складається із активної і реактивної складової
- оскільки індуктивний опір в трансформаторі значно більший від активного, то  $u_k$  залежить від реактивного опору трансформатора.

# Силові трансформатори

Регулювання напруги

# Регулювання напруги



Більшість споживачів ел. ен. розраховані на певну напругу мережі. У випадку зміни напруги порушується нормальна робота споживачів. У час-пік, коли велике навантаження, напруга на шинах трансформатора знижується. Але споживачам необхідна номінальна напруга. Щоб задовільнити цю потребу в трансформаторі є можливість регулювати напругу.

Є два типи регулювання напруги в трансформаторі – ПБН і РПН.

# Регулювання напруги

---

- В силових трансформаторах напругу регулюють на стороні ВН. Це дозволяє спростити конструкцію переключачеля, так як струми в обмотці ВН менші ніж в обмотці НН.
- Крім того, число витків обмотки ВН більше ніж обмотка НН, в результаті чого зміна числа витків на 1, 25 – 2,5% можна зробити з більшою точністю.



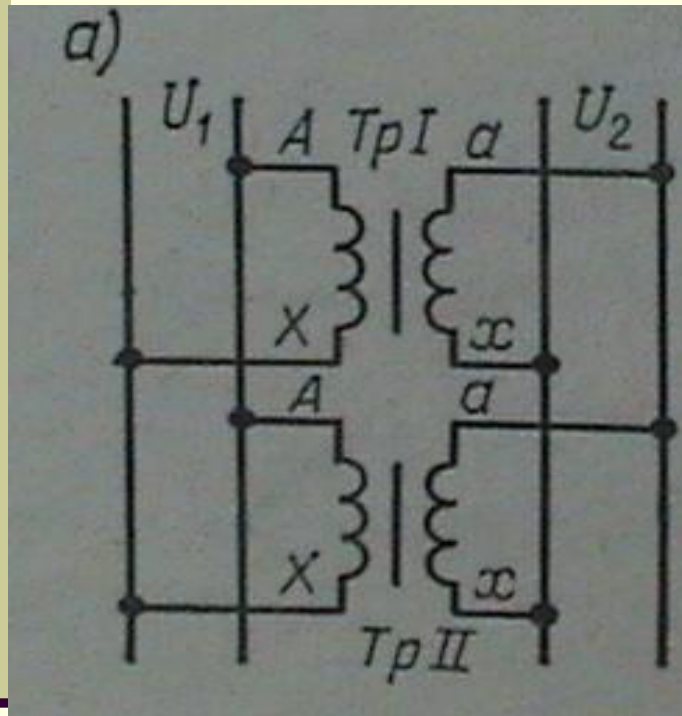
# ПБН

- Принцип регулювання полягає в зміні кількості витків в обмотці трансформатора. В обмотці ВН роблять ряд відгалужень, кожне яке відповідає певній кількості витків.
- Стандартні трансформатори малої і середньої потужності (до 630кВА) мають як правило 5 відгалужень (положень), середнє відповідає номінальному значенню напруги, інші відрізняються від нього на  $\pm 5\%$  ( $\pm 2 \times 2,5\%$ )
- Наприклад:
  - I положення: 6,615кВ - 1050 витків у обмотці ВН
  - II положення: 6,3кВ - 1000 витків
  - III положення: 5,985кВ - 950 витків
- Щоб перевести перемикач ПБН необхідно відключити трансформатор, перемикання здійснюється без навантаження, вручну.

# РПН

- Число відгалужень обмотки у трансформаторів з РПН значно більше, а діапазон регулювання напруги ширший  $\pm 9\%$  ( $\pm 6 \times 1,5\%$ ). Існують трансформатори з діапазоном регулювання  $\pm 10\%$ ,  $\pm 12\%$ ,  $\pm 16\%$ ,  $\pm 22\%$ .
- РПН дозволяє перемикає під навантаженням, без відключення трансформатора (на відміну від ПБН), за допомогою спеціальних перемикачів (контакторів), безпосередньо встроєних в трансформатор.
- Керується РПН автоматично, вручну, або дистанційно з пульта управління.
- РПН займає велике місце, тому трансформатори з РПН мають більші об'єми ніж трансформатори такої потужності без РПН.

# Паралельна робота трансформатора



- Паралельна робота трансформатора зручна і економічна. Це дозволяє краще вирішувати проблему безперебійного постачання, виключити трансформатор при зменшенні навантаження, вивести в ремонт.
- Втрати  $x.x$  одного трансформатора більшої потужності є більші ніж два менші трансформатора.
- Є три умови включення трансформаторів на паралельну роботу:
  1. Номінальні напруги первинної і вторинної обмотки повинні бути однакові, тобто однакові коефіцієнти трансформації.
  2. Трансформатори повинні мати однакову групу з'єднань.
  3. Напруга к.з. повинна бути однакова, або відрізнятись від їх середньоарифметичного значення не більше  $\pm 10\%$ .

# Силовий трансформатор

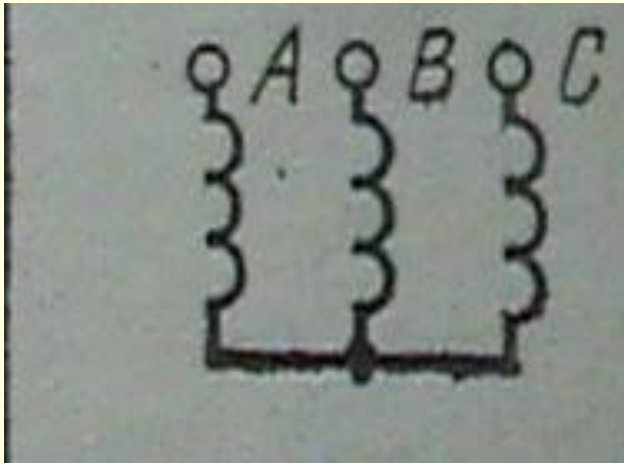
Схеми з'єднання обмоток

# Схеми з'єднання обмоток

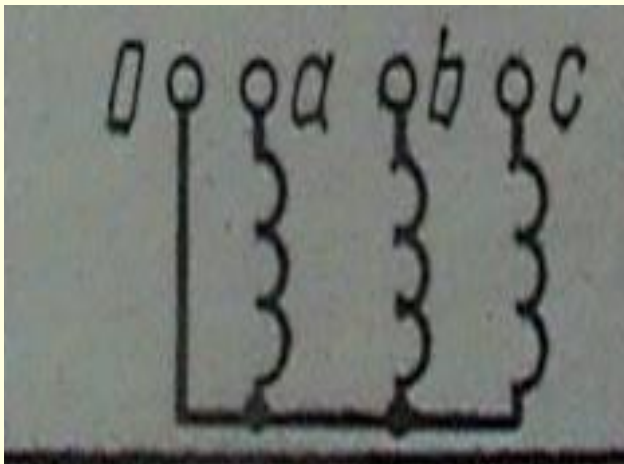
---

- Первинна і вторинна обмотки трифазного трансформатора може бути під'єднано в:
  - - “зірку”;
  - - “зірку з нулем”;
  - - “трикутник”;
  - - “зигзаг з виведеною нульовою точкою”

# Схеми з'єднання обмоток

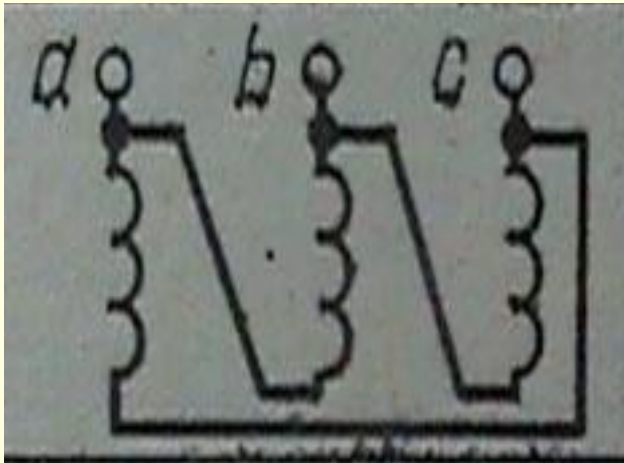


- - схема з'єднання "зірка"

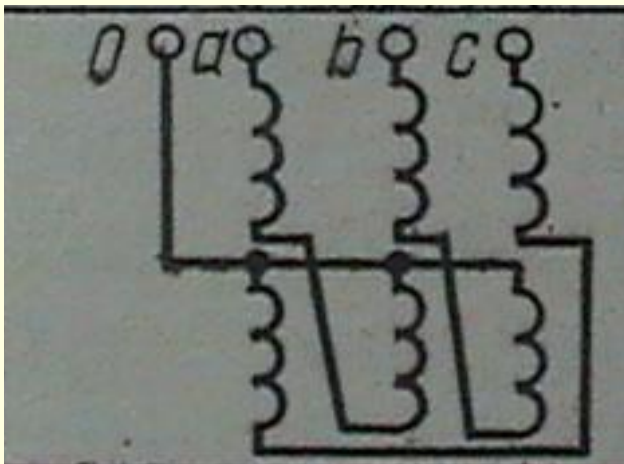


- - схема з'єднання "зірка з нулем"

# Схеми з'єднання обмоток

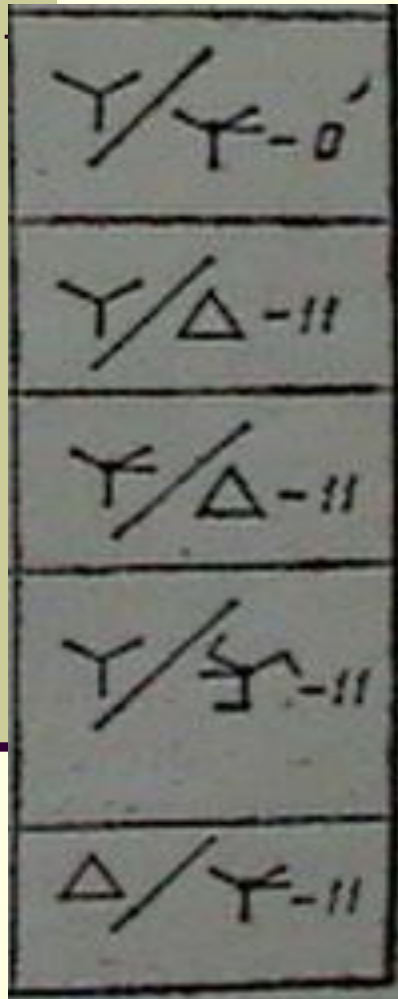


- - схема з'єднання “трикутник”



- - схема з'єднання “зигзаг з виведеною нульовою точкою”

# Схеми з'єднання обмоток



■ - зірка – зірка з нулем

■ - зірка-трикутник

■ - зірка з нулем – трикутник

■ - зірка-зигзаг з нулем

■ - трикутник – зірка з нулем



# Позначення виводів обмоток

- Виводи початків обмотки ВН позначається:
  - Початок обмотки - A, B, C;
  - кінців обмотки – X, Y, Z.
- 
- Виводи обмотки СН:
  - Початок обмотки -  $A_M, B_M, C_M$ ;
  - кінців обмотки –  $X_M, Y_M, Z_M$ .
- 
- Виводи обмотки НН:
  - початок - a, b, c;
  - кінець - x, y, z.

# Силовий трансформатор

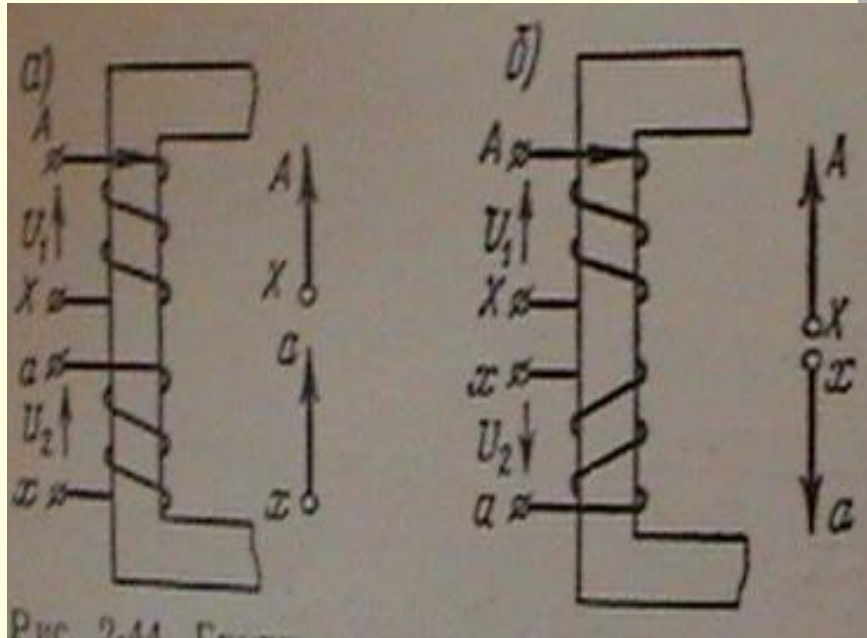
Група з'єднання обмоток

# Група з'єднання обмоток

---

- Трансформатори поділяються на групи в залежності від зсуву фаз між лінійними напругами, виміряних на однойменних зажимах ВН і НН.

# Група з'єднання обмоток



В однофазному трансформаторі напруга первинної і вторинної обмотки можуть співпадати по фазі або бути зсунуті на кут  $180^\circ$ . Це залежить від напрямку намотування обмоток.

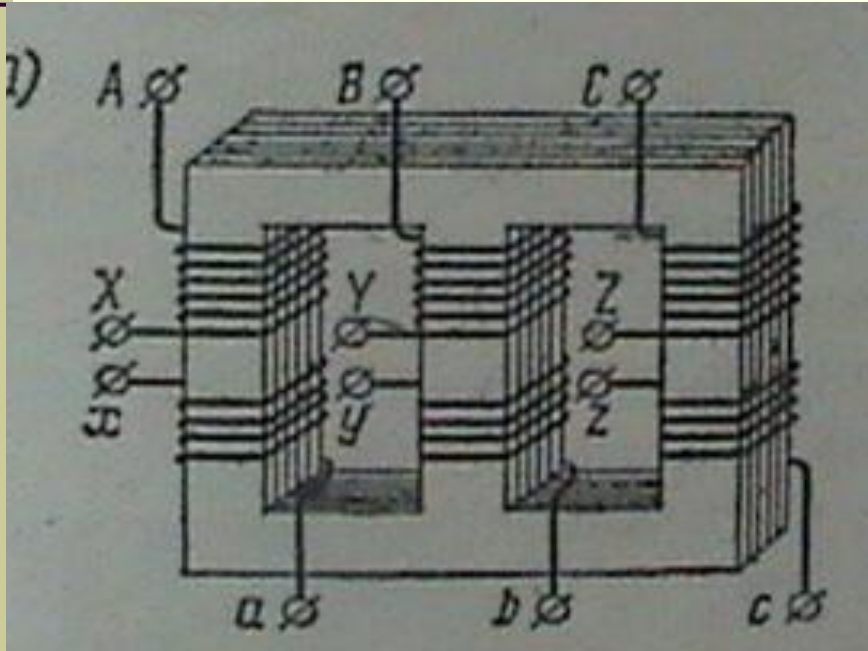
# Група з'єднання обмоток

- Група з'єднання позначається цілим числом від 0 до 11. Номер групи визначає величину кута, на який вектор лінійної напруги обмотки НН відстає від вектора лінійної напруги обмотки ВН. Для визначення номера групи цей кут необхідно поділити на  $30^\circ$ .
- Наприклад, кут зсуву між лінійними напругами НН і ВН складає  $330^\circ$ :

$$N = \frac{330}{30} = 11$$

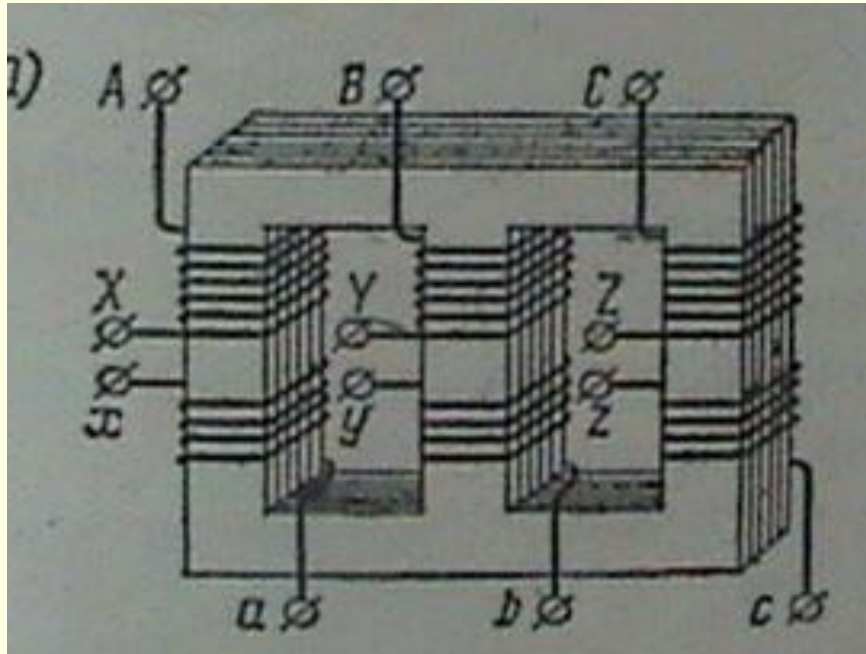
- Відповідно група з'єднання трансформатора – 11.

# Група з'єднання обмоток



В трифазних трансформаторах в залежності від схеми з'єднання обмоток (“зірка” або “трикутник”) і порядку з'єднання їх початків і кінців можна отримати різні кути зсуву фаз між лінійними напругами і відповідно різні групи з'єднання обмоток трансформатора.

# Група з'єднання обмоток



- Наша промисловість випускала трансформатори із двома групами з'єднання: 0(або12) і 11.
- Це полегшувало підбирання трансформаторів на паралельну роботу.

# Силові трансформатори

Номінальний режим роботи і допустимі  
перевантаження



# Параметри силових трансформаторів

---

- Кожний трансформатор розрахований на тривалу безперервну роботу при номінальному режимі.
- Номінальний режим роботи трансформатора – це робота трансформатора при номінальних значеннях напруги, частоти, навантаження.
- При номінальних режимах трансформатор може працювати необмежено довго, за умови нормального охолодження трансформатора.

# Номинальна потужність

---

- Номинальна потужність двообмоткового трансформатора розуміється потужність будь-якої із його обмоток.
- Номинальна потужність триобмоткового трансформатора розуміється потужність обмотки ВН.

# Номінальний струм

Номінальний струм кожної обмотки визначається по її номінальній потужності і відповідно номінальній напрузі.

$$I_{л} = \frac{S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{НОМ}}$$

- $S_{НОМ}$  - потужність обмотки;
- $U_{НОМ}$  – номінальна лінійна напруга обмотки, кВ.

# Допустимі перегрузки трансформаторів

---

- Згідно ПТЕ трансформатори допускається систематичне і аварійне перевантаження:

■ Перегрузка %	30	45	60	75	100	200
■ Тривалість, хв	120	80	45	20	10	1,5

# Періодичні огляди трансформаторів

---

- ПУЕ встановлює обов'язковий періодичний огляд трансформаторів. При наявності чергового персоналу огляд трансформаторів необхідно проводити 1 раз на добу, коли нема чергового – 1 раз в місяць.
- При періодичних оглядах необхідно перевірити стан фарфорових ізоляторів і покривки вводів, огляд розрядників на трансформаторі, наявність або відсутність сколів або тріщин в ізоляторах, забрудненість ізоляторів, течі масла. Необхідно переконатися у справності вимірювальних приладів, масловказівника, РПН, газового реле, мембрани вихлопної труби, стан індикаторного силікагеля, стан зварних швів.

# Періодичні огляди трансформаторів

---

- При огляді можуть бути інші порушення підвищена вібрація, порушення кріплення шин, деформація деяких елементів та ін.
- Черговий або оперативний персонал , який виявив порушення, повинен негайно попередити свого начальника, зробити запис в журнал дефектів або оперативний журнал.
- Далі керівництво приймає рішення про виведення трансформатора в ремонт чи залишати в експлуатації.

# Контроль за перемикаючими пристроями

---

- Періодична прокрутка РПН і ПБН є ефективним засобом контролю і профілактики його стану. При прокрутці перевіряється робота привода і схема управління ним. Але головне – це профілактика стану контактів. В процесі експлуатації на контактах утворюється окисна плівка, яка збільшує перехідний опір. Окисна плівка приводить до нагрівання контактів, що може привести до порушення нормальної роботи трансформатора, погіршуються ізоляційні якості трансформаторного масла.

# Контроль режиму роботи

---

- Контроль трансформаторів здійснюється по амперметрах, на шкалі яких повинні бути нанесені червоні мітки, які відповідають номінальним навантаженням обмоток.
- Це полегшує нагляд за режимом роботи і допомагає попереджувати перевантаження.
- Одночасно з контролем за значеннями навантаження необхідно контролювати рівномірність навантаження по фазах.



# Тепловий контроль

---

- Контроль теплового режиму проводиться вимірюванням верхніх шарів трансформаторного масла в баку трансформатора. Вимірювання проводиться на щиті управління за допомогою дистанційних термометрів.

# Огляд трансформаторів

---

- Термін періодичних оглядів встановлюється місцевими інструкціями.
- На підстанціях з постійним черговим трансформатори оглядаються 1 раз на добу, на підстанціях без чергового – не менше 1 разу в місяць.

# Огляд трансформаторів

---

- Огляд проводиться також при дії сигналізації про порушення режиму роботи трансформатора або системи охолодження.
- Мета періодичних оглядів – перевірка умов роботи і виявлення неполадок , які можуть призвести до аварії.

# Силові трансформатори

Несправності в роботі трансформатора

# Пошкодження

---

- Під час експлуатації можливе виникнення різного виду дефекти і неполадки в трансформаторі.
- З одними неполадками трансформатори можуть ще працювати довго, при інших – необхідно негайно вивести в ремонт.

# Пошкодження

---

- Типові пошкодження які бувають в трансформаторі це пошкодження ізоляції, магнітопровода, перемикаючих пристроїв, відводів, маслонаповнених і фарфорових вводів.
- Неоперативність персоналу, несвоєчасне прийняття мір, направлених на прийняття мір, приводить до аварійних вимкнень.
- Причини пошкодження є в несприятливих умовах експлуатації, неякісному ремонті і монтажі трансформатора.

# Пошкодження ізоляції

---

- Головна ізоляція часто пошкоджується із-за порушення електричної міцності.
- Механічні пошкодження відбуваються при к.з. в мережі і недостатній механічній міцності в трансформаторі.
- Магнітопровід пошкоджується із-за перегріву лакової плівки між листами сталі магнітопровода, при порушенні ізоляції пресуючих шпильок.

# Пошкодження перемикаючих пристроїв

---

- Пошкодження перемикаючих пристроїв ПБН відбувається при порушенні контакту між рухомими кільцями і нерухомими струмоведучими стержнями.
- Погіршення контактів відбувається при зниженні контактного тиску і утворенні контактної плівки на контактних поверхнях.



# Пошкодження перемикаючих пристроїв

---

- Причинами пошкодження РПН є порушення в роботі контакторів, заклинання механізмів контактора, втрата механічної міцності контактів.

# Пошкодження

---

- Пошкодження відводів від обмотки до перемикаючих пристроїв і вводів виникають через незадовільну пайку контактних з'єднань, також приближення гнучких відводів до баку трансформатора.
- Характерною причиною пошкодження фарфорових вводів є нагрів контактів в різьбових з'єднаннях струмоведучих шпильок або в місці під'єднання зовнішніх шин.