

Лекція 1

Вступ. Електрична енергія, переваги перед другими видами енергії. Основні напрямки електротехніки (2 години)

Основні питання:

- Основні визначення електротехніки.
- Електрична енергія, її носії, переваги перед другими видами енергії.
- Сучасні та перспективні та перспективні джерела електричної енергії.
- Основні напрямки електротехніки.

Електротехніка

Електротехніка-наука про застосування електричної енергії на практиці.

Початком практичного застосування вважають відкриття електричної дуги академіком В. В. Петровим в 1802 р, який теоретично обґрунтував можливість її застосування для освітлення, плавки, з'єднання металів (зварюванням). Пізніше практика все це підтвердила. Відкриття явища електромагнітної індукції дозволило одержати надійні та потужні джерела електроенергії та подальше перетворення цієї енергії в інші види (механічну, теплову, світлову, та ін.)

В основі електротехніки передбачається виробництво та застосування електричної енергії.

Електричною енергією володіють електричні заряди елементарних частинок речовин. Електричні заряди нерозривно зв'язані з їх електричним полем, а його присутність визначається здатністю виконувати роботу при взаємодії з другими електричними зарядами.

Переваги електричної енергії:

- Порівняно просто одержати з інших видів енергії природи;
- легко, з мінімальними втратами передається на відстань та розподіляється між споживачами;
- легко перетворюється в інші види;
- К.К.Д. електрообладнання досягає до90% і вище;
- екологічність;
- електрообладнання має високу надійність та довговічність, легко автоматизується.

Основні та перспективні джерела енергії:

- Хімічні I-го та II-го роду;
- ТЕС, ТЕЦ, ДРЕС;
- АЕС, АТЕС, АДРЕС;
- ГЕС;
- Перспективні:
- Вітрові;
- сонячні;
- геотермальні;
- термогенератори.

Основні напрямки електротехніки:

- Енергетичний — вирішує питання виробництва, транспортування та розподілу електроенергії.
- Технологічний — вирішує питання застосування електричної енергії на виробництві, науці, побуті, медицині, транспорті та ін.
- Інформаційний — вирішує питання одержання, передачі, обробки та застосування інформації (ЕОМ, зв'язок, телебачення, технічна кібернетика та ін.)

Лекція 2

Електричні кола постійного струму (4 години)

Основні питання:

- Визначення електричного кола та його складових частин;
- сила струму, густина I , електрорушійна сила, напруга;
- закон Ома;
- електричний опір та його залежність від температури;
- закон Джоуля Ленца, робота і потужність електричного кола;
- з'єднання резисторів. I, II закони Кірхгофа.
- Режими роботи електричних кіл.

Електричне коло

Пристрій який складається з джерела енергії, споживача і з'єднувальних проводів називається електричне колом.

- Зовнішня ділянка кола;
- внутрішня ділянка кола.

Складні кола можуть складатись з 2, 3 і більше джерел енергії, декількох і більше споживачів. Воно також має розгалуження та вузлові точки.

В замкнутому колі виконується робота по одержанню, передачі та перетворення електричної енергії. Інтенсивність роботи кола визначається силою струму (I), який показує величину заряду, який передається через поперечний переріз провідника за 1с.

$$I = \frac{Q}{t} \left(\frac{1\text{кл}}{1\text{с}} \right) = 1\text{А}$$

Густина струму показує, якої сили струм проходить через одиницю площі перерізу провідника.

$$\delta = \frac{I}{S} \left(\frac{\text{А}}{\text{М}^2} \right)$$

Електрорушійна сила — величина чисельно рівна енергії одержуваній всередині джерела електричним зарядом.

ЕРС витрачається на подолання опору всього кола. Частина E , яка витрачається на подолання опору ділянки кола називається напругою ділянки.

$$F = U_0 + U$$

Для контролю за роботою кола, регулювання, захисту в коло включають вимірювальні прилади, апарати управління, запобіжники та ін.

Закон Ома

Встановлює зв'язок між силою струму кола, його опором та E джерела.

$$I = \frac{U}{R} \text{ — закон Ома для ділянки кола;}$$

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \text{ — закон Ома для всього кола.}$$

Електричний опір

В результаті зіткнення електронів провідності з елементами кристалльної решітки атомів провідників і виникаючого внутрішнього тертя провідники чинять опір, величину якого можна визначити із з-ну Ома. $R = \frac{U}{I} \left(\frac{1B}{1A} = 1O_M \right)$

Опір провідника:

$$R_i = \rho \frac{l}{s} = \frac{l}{\gamma * s}$$

де:

ρ — питомий опір (Ом*м)

γ — питома провідність (Ом/м)

l — довжина провідника.

Величина опору провідника залежить від його геометричних розмірів, та матеріалу.

Провідники I-го роду — метали, їх сплави, вугілля, II-го роду — електроліти.

Вплив температури на опір. (При $t \geq 100^\circ C$ $\alpha = \text{const}$)

$$R_2 = R_1(1 + \alpha_t(Q_2 - Q_1));$$

де:

R_2 — кінцевий опір;

R_1 — початковий опір;

α_t — температурний коефіцієнт опору;

Q_1, Q_2 — початкова та кінцева температури.

Робота та потужність електричне кола

Робота джерела енергії.

$$A_d = W_d = E * Q = E * I * t \quad (1B * 1A * 1c = 1B_T * c)$$

Втрати енергії в проводах і в власному опорі джерела.

$$A_0 = W_0 = I * U_0 * t$$

Корисна енергія споживається електричними двигунами, освітлювальними приладами, нагрівальними приладами та ін.

$$A = W = I * U * t$$

Робота яка виконується за 1с називається потужністю (швидкістю перетворення енергії)

$$P_0 = \frac{A_0}{t} = \frac{E * I * t}{t} = E * I \quad (1B * 1A = 1BT)$$

$$\text{Втрати потужності} \quad P_0 = \frac{I * U_0 * t}{t} = I * U_0$$

$$\text{Корисна потужність} \quad P = \frac{I * U * t}{t} = I * U \qquad P = I * U = R * I^2 + \frac{U^2}{R}$$

Баланс потужностей $P_o = P_0 + P$ стверджує закон збереження енергії та дозволяє перевірити точність розрахунків.

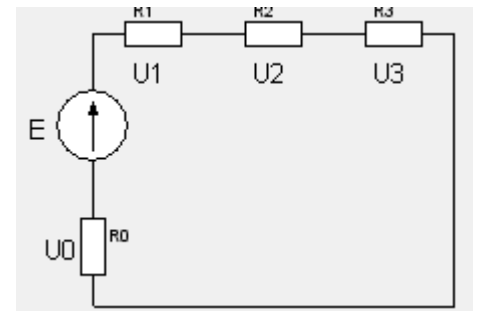
Закон Джоуля Ленца встановлює залежність між кількістю теплової енергії виділеної провідником, силою струму, опором та часом.

$$W = P * t = I * U * t = R * I^2 * t, \text{ Дж}$$

Послідовне з'єднання

$$I = \frac{E}{R_s} = \frac{E}{R_0 + R_1 + R_2 + R_3};$$

$$E = U_0 + U_1 + U_2 + U_3 \text{ (II Закон Кірхгофа)}$$

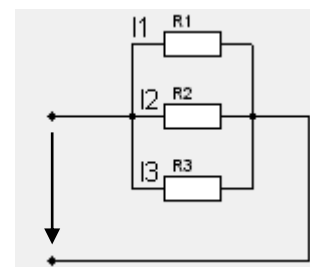


Паралельне з'єднання

$$I = \frac{U}{R_s}; R = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1 * R_2 + R_1 * R_3 + R_2 * R_3};$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \text{ - I закон Кірхгофа}$$

$$\sum I = 0$$

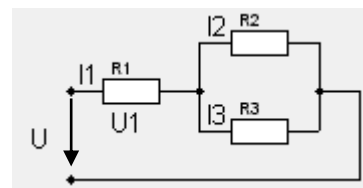


$$I = I_1 = \frac{U}{R_e};$$

$$R_e = R_1 + \frac{R_2 * R_3}{R_2 + R_3};$$

$$I_2 = \frac{U - U_1}{R_2}; U - U_1 = U - R_1 * I;$$

$$I_3 = \frac{U - U_1}{R_3}$$



Режими роботи електричних кіл:

- Холостий хід; $R_y = +\infty$; $I = 0$; $U = E$.
- Робота на зовнішню загрузку $I = \frac{U}{R} = \frac{E}{R_0 + R}$.
- Режим короткого замкнення $R = 0$; $I_{\text{к.з.}} = \frac{E}{R_0} \approx 20...30 I_i$. Для захисту використовуються плавкі запобіжники та реле максимального струму.

В лініях електропередач використовуються мідні та алюмінієві провідники. В лініях електрозв'язку (телефон) та радіотрансляції застосовується стальні провідники для підвищення міцності (надійності) незалежно від дії зовнішнього середовища.

Інколи їх покривають шаром міді або цинку для захисту від корозії.

Лекція 3

Електромагнетизм (2 години)

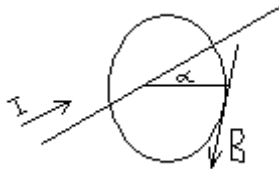
Основні питання:

- Магнітне поле струму та його характеристики;
- електромагнітна сила;
- електромагніти;
- електромагнітна індукція;
- самоіндукція;
- взаємоіндукція.

Магнітне поле існує навкруги направлено рухомих електричних зарядів (провідник зі струмом) і визначається по здатності виконувати роботу.

Намагнічуюча сила струму (МРС)

$$F_m = I \ (A) \quad F_m = W * I \ (\text{для катушки})$$



Напруженість МП $H = \frac{F}{l} = \frac{I}{2\pi a} \left(\frac{A}{M} \right)$

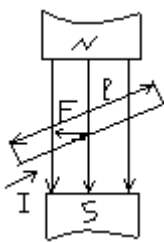
Магнітна напруга $U_m = H * l = \frac{I}{2\pi a} * l_1 \left(\frac{A}{M} * M = A \right)$

Магнітна індукція $B = \mu_a * H; \mu = \frac{\mu_a}{\mu_0}; \mu_0 = 125 * 10^{-8} \frac{Гн}{М}$

$$B - \frac{Гн}{М} * \frac{А}{М} = \frac{Ом * c * А}{М^2} = \frac{В * c}{М^2} = Tл \left(\frac{Вб}{М^2} \right)$$

Магнітний потік $\Phi = B * S \left(\frac{В * c}{М^2} * М^2 = В * С = Вб \right)$

Електромагнітна сила



На провідник зі струмом в магнітному полі діє сила напрямком якої можна визначити по правилу лівої руки.

$$F = B * l * I * \sin \alpha = B * l * I$$

Між двома проводами зі струмом діють сили

$$F_1 = F_2 = I_1 * B_2 * l = I_2 * B_1 * l = \mu_a \frac{I_1 * I_2}{2\pi a} * l$$

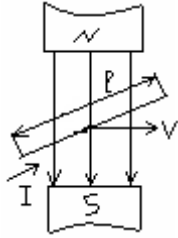
Електромагніти

Сила тяги електромагніту $F = 4 * 10^5 * B^2 * S$

Електромагнітна індукція

В провіднику який рухається в магнітному полі іде перерозподіл вільних зарядів в результаті чого на його краях виникає різниця потенціалів (е.р.с. електромагнітної індукції), напрям наведеної E визначають за правилом правої руки.

$$\dot{A} = B * l * V * \sin \alpha$$



Явище електричної магнітної індукції використовується в основі роботи електричних генераторів.

Самоіндукція

Всяка зміна струму в котушці викликає зміну її магнітного поля. Це ж поле змінюючись викликає наведення в котушці е.р.с. самоіндукції, яка за правилом Ленца має напрям протилежний струму, який міняється.

$$I_L = -L \frac{di}{dt};$$

L — індуктивність котушки

$$L = \mu a \frac{W^2}{l} S, \text{ Гн}$$

Індуктивність залежить від кількості витків, геометричних розмірів котушки та наявності осердя.

Явище застосовується в системі електрозапалювання автотранспорту та деяких інших пристроях.

Взаємоіндукція

Всяка зміна струму в одній котушці приводить до наведення Е.Р.С. в другій котушці.

Наведена

$$E_2 = -M \frac{di}{dt};$$

M — взаємна індуктивність котушок

$$M = K \sqrt{L_1 * L_2}$$

K — коефіцієнт зв'язку котушок.

Явище використовується в трансформаторах і двигунах змінного струму.

Лекція 4

Однофазні кола змінного струму (6 годин)

Основні питання:

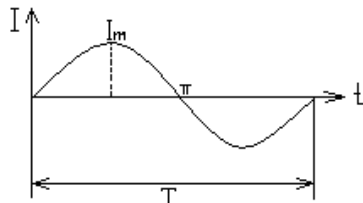
- Основні визначення;
- коло змінного струму з R (поверхневий ефект);
- коло змінного струму з L;
- коло змінного струму з C;
- послідовне з'єднання R, L і C в колі змінного струму. Резонанс напруг;
- паралельне з'єднання R, L і C, резонанс струмів;
- коефіцієнт потужності та його вплив на економне споживання електроенергії.

Основні визначення

Змінним називають струм величина та напрям якого змінюються гармонічно за рівні проміжки часу-періоди. В техніці використовується синусоїдально змінний струм основними джерелами якого є електричні та електронні генератори. Переваги:

- порівняно просто одержати;
- з мінімальними втратами передається на відстань.
- Легко змінюється напруга $\sim I$;
- двигуни змінного струму прості, надійні, мають високий η ;

Зображення $\sim I$.



Період – час повної зміни струму по величині та напрямку: частота $f=1/T$, Гц (s^{-1}).

Основні частоти $\sim I$ які застосовуються

- Промислова $f=50$ Гц;
- Електрозв'язок $f=300 \dots 5000$ Гц;
- Електротермія f від 50 Гц до $5 \cdot 10^7$ Гц;
- Радіотехніка f від 10^5 до $10^{12} \dots 10^{14}$ Гц.
- I_m – амплітудне значення

i – миттєве значення – значення $\sim I$ в даний момент. Воно характеризується амплітудою, періодом (частотою) і фазою (фазовим кутом).

Кут, який пройшла “рамка” генератора на час відліку називається *фазовим*.

Електрична (кутова) швидкість або частота

$$\omega = p \cdot \Omega = \frac{p \cdot \alpha}{t} = \frac{p \cdot \alpha}{p \cdot T} = 2\pi f$$

p – число пар полюсів.

Ω – кутова швидкість ротора.

α – кут створений між нейтральною площиною і площиною рамки генератора $\alpha = \Omega \cdot t$

Зсув по фазі – різниця двох фазових кутів між двома синусоїдальними величинами.

Діюче значення змінного струму:

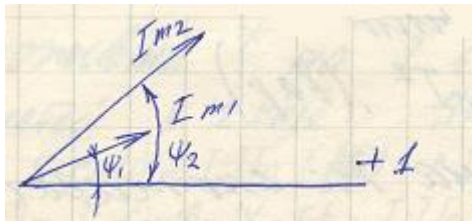
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

Вимірювальні прилади показують діюче значення синусоїдально змінних величин.

Середнє значення $\sim I$.

$$I_c = \frac{2I_m}{\pi} = 0.637 I_m$$

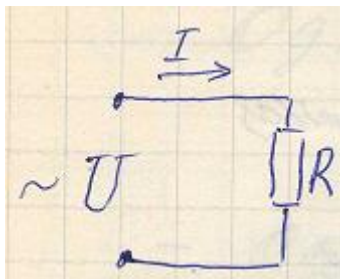
Векторна форма зображення.



$$i = I_m \sin(\omega t \pm \psi_i),$$

якщо фазовий кут $\psi_i = 0$ то $i = I_m \sin \omega t$

Коло змінного струму з R



Провідник $\sim I$ чинить більший опір чим такому по величині $-I$ (активніше перетворює енергію).

Це визвано поверхневим ефектом, який широко застосовується на практиці – цементация, загартування чорних металів.

Негативно позначається в радіотехніці.

$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t - \text{закон Ома.}$$

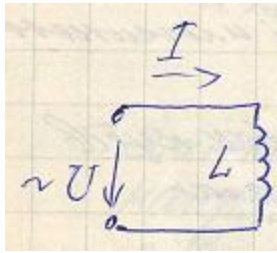
Активна потужність

$$p = ui = i^2 R = I_m^2 R \sin^2 \omega t = \frac{1}{2} I_m^2 R - \frac{1}{2} I_m^2 R \cos 2\omega t = I^2 R - I^2 \cos \omega t$$

$I^2 R$ - середня швидкість перетворення потужності в тепло за один період.

$$P = I^2 R = IU(Bm)$$

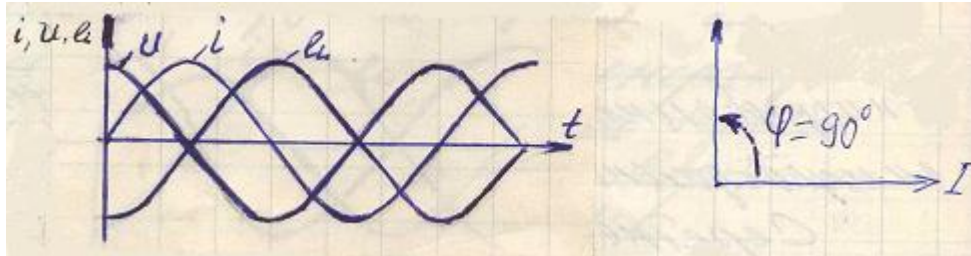
Коло змінного струму з L



Котушки змінного струму виявляють реактивний опір в результаті ЕРС самоіндукції.

$$U = -e_L = LI_m \cos \omega t = U_m \sin(\omega t + \pi/2),$$

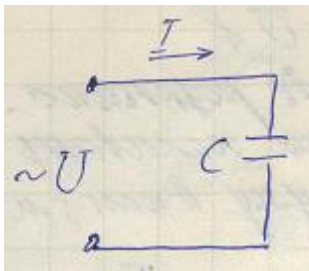
або приложена напруга врівноважується такою ж по величині ЕРС e_L .



Реактивний опір котушки індуктивності

$$x_L = \omega L = 2\pi f L (\text{Ом})$$

Коло змінного струму з C



Якщо на зажимах конденсатора $u = U_m \sin \omega t$, то на обкладках заряд $q = Cu = CU_m \sin \omega t$, струм

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt} = I_m \sin(\omega t + \pi/2).$$

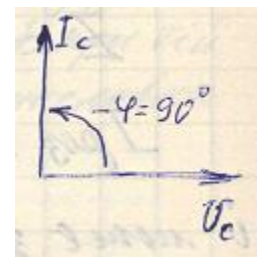
Таким чином струм в колі з ємністю опережає приложену напругу на $\pi/2$

$$\text{Реактивний опір конденсатора } x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} (\text{Ом})$$

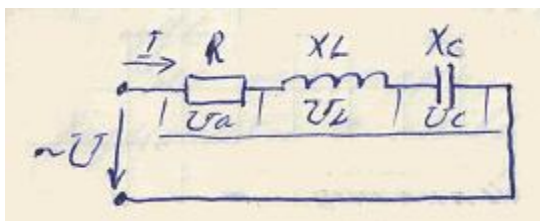
Реактивна потужність ємності

$$p = UI = U_m \sin \omega t \cdot I_m \cos \omega t = UI \sin 2\omega t$$

$$Q = UI - U^2 \omega C = x_C I^2$$



Послідовне з'єднання R, L, C в колі змінного струму



$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}};$$

Напруга на затискачах кола по другому закону Кірхгофа

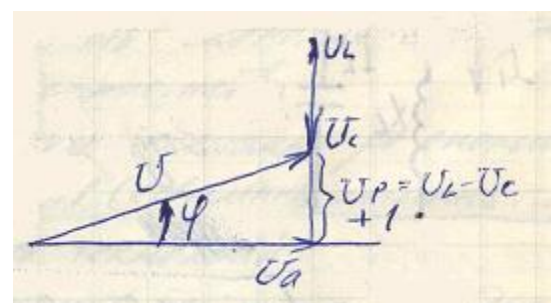
$$* \bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_L + \bar{U}_C$$

1. $x_L > x_C$; $U_L > U_C$ (інд. x - p)
2. $x_L < x_C$; $U_L < U_C$ (емн. x - p)
3. $x_L = x_C$; $U_L = U_C$ (акт. x - p)

Тоді при $U_L > U_C$

З одержаного трикутника напруги

$$U = \sqrt{U^2 - (U_L - U_C)^2}$$



$$U_a = U \cos \varphi \quad U_p = U \sin \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{U_a}{U}$$

Розділивши * на силу струму в колі одержимо трикутник опорів $Z^2 = R^2 + (x_L - x_C)^2$, або $Z\sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2}$ звідки $R = Z \cos \varphi$; $(x_L - x_C) = Z \sin \varphi$

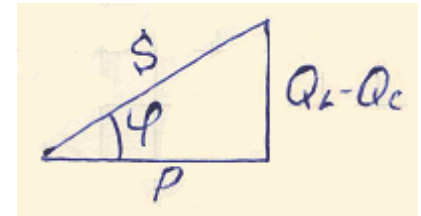
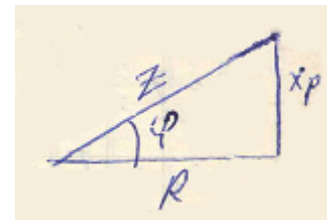
$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Помноживши * на I в колі одержимо трикутник потужностей з якого $S = \sqrt{p^2 + (Q_L - Q_C)^2} = IU(B \cdot A)$

$$p = S \cos \varphi = IU_a = RI^2$$

$$(Q_L - Q_C) = S \sin \varphi = x_P I^2 = IU_p$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$



У випадку, коли $x_L < x_C$ розрахунок аналогічний, але $\angle \varphi$ має знак “-”.

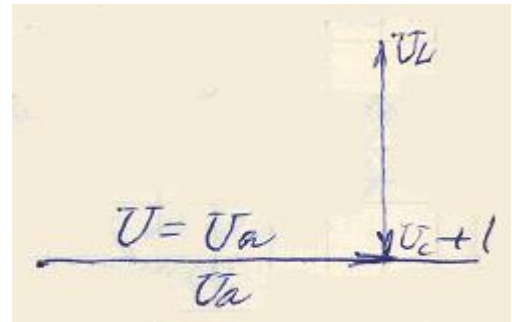
У випадку, коли $x_L = x_C$, $U_L = U$ в колі виникає послідовний резонанс, або резонанс напруг. При цьому частота власних коливань послідовного контура f_K рівна частоті струму в колі f_M (тобто 50 Гц)

$$f_K = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_M = 50 \text{ Гц.}$$

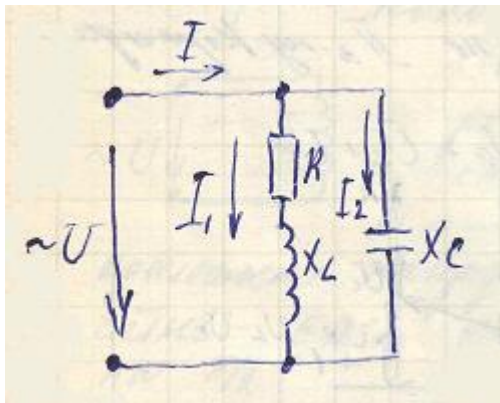
$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_C)^2} = R \quad \cos \varphi = \frac{R}{Z} = 1$$

$$I_{\text{рез}} = \frac{U}{Z} = \frac{U}{R} \rightarrow I_{\text{max}}$$

I може значно перевищувати номінальні значення для даного кола, а падіння напруг U_L, U_C в десятки раз перевищувати приложену на затискачі напругу і викликає, як струмові перенавантаження, так і пробої ізоляції котушок і конденсаторів, а тому в промислових мережах він не допускається. Для захисту їх використовують плавкі запобіжники та реле.



Паралельне з'єднання R, L, C



$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\frac{Z_1 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2}} = UY$$

де Y – повна електропровідність кола.

Згідно I закону Кірхгофа $\bar{I} = \bar{I}_1 + \bar{I}_2$

$Y = \sqrt{g_1^2 + (b_{L_1} - b_{C_2})^2}$, g – активна провід-

ність гілки. $g_1 = z_1 \cos \varphi_1 = z_1 \frac{R_1}{z_1^2}$

$$b_{L_1} = z_1 \sin \varphi_1 = z_1 \frac{x_{L_1}}{z_1^2} \quad b_{C_2} = \frac{1}{x_{C_2}}$$

$$*\bar{I} = \bar{I}_{a1} + \bar{I}_{p1} + \bar{I}_{p2}$$

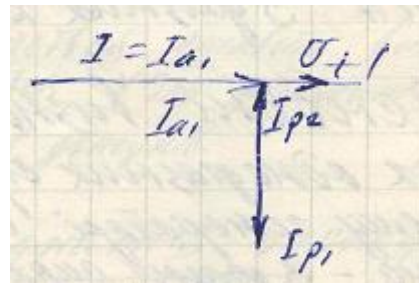
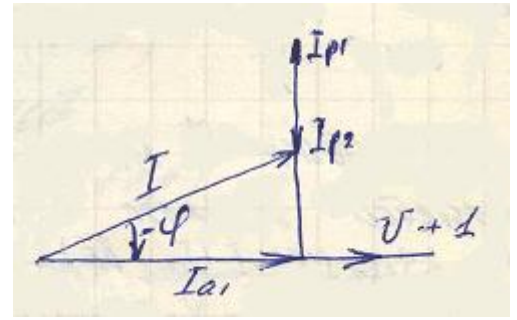
$$I_{a1} = I_1 \cos \varphi_1 = I_1 \frac{R_1}{Z_1^2}; g_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}$$

$$I_{p1} = I_1 \sin \varphi_1 = I_1 \frac{X_{L1}}{Z_1^2}; b_L = \frac{X_{L1}}{Z_1^2}$$

Якщо в паралельному контурі реактивні опори $b_L = b_C = 0$ настає резонанс струмів, або паралельний резонанс ($f_K = f_M$) при чому $y = \sqrt{g_1^2 + (b_{L1} - b_{C2})^2} = g_1$, а струм $I_{рез} = Ug_1 = I_{a1} \rightarrow I_{min}$

$$\cos \varphi = \frac{g_1}{y} = 1$$

Таким чином при паралельному резонансі струм споживаний контуром від мережі мінімальний при тій же роботі, а тому його бажано мати в промислових мережах.



Коефіцієнт потужності ($\cos \varphi$)

Показує, яка частка всієї споживаної потужності іде на виконання корисної роботи. Його можна визначити з співвідношень

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{W_a}{W} = \frac{R}{Z} = \frac{U_a}{U} = \frac{I_a}{I}$$

Згідно зі СТУ для промислових підприємств $\cos \varphi \geq 0.95 \dots 0.98$.

Підвищення $\cos \varphi$ дає можливість економії електроенергії на одиницю продукції підприємств.

$\cos \varphi$ можна підвищити:

- Застосування енергозберігаючих технологій;
- Вибором потужності електродвигунів та іншого обладнання;
- Включенням конденсаторів паралельно котушкам індуктивності.

Лекція 5

Трифазний струм. (4 години)

Основні питання:

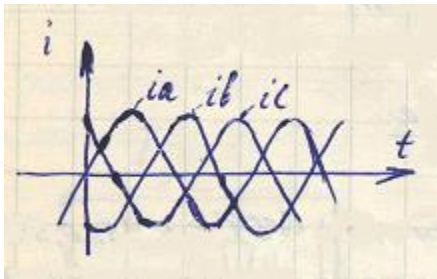
- Основні визначення, переваги, зображення, застосування.
- З'єднання обмоток генератора зіркою; основні співвідношення.
- З'єднання трикутником
- Потужність трифазних кіл;

Основні визначення

Система трьох однофазних струмів однакової частоти, одержаних в одному генераторі і зсунутих по фазі на $\angle 120^\circ$. Джерела – трифазні синхронні генератори.

Переваги:

- Простота одержання.
- Високий ККД при транспортуванні.
- Легко перетворюється в механічну енергію.
- Екологічність.



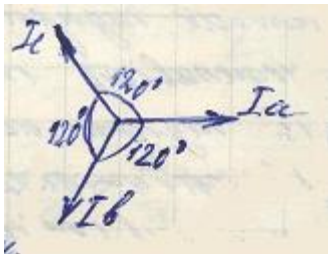
$$i_a = I_m \sin \omega t$$

$$i_b = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

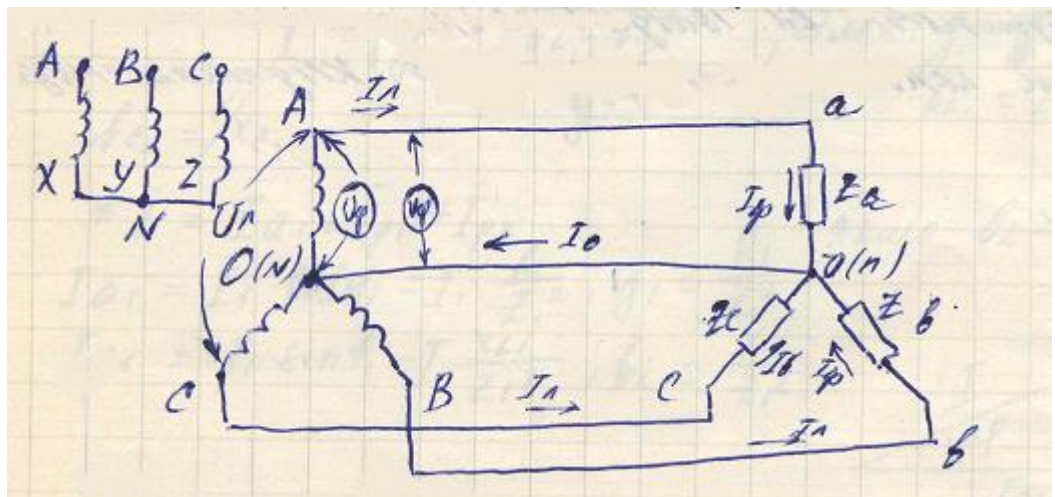
$$i_c = I_m \sin(\omega t + 120^\circ)$$

В одній мережі можна мати дві різних по величині напруги (наприклад 220В та 380В).

Трифазний струм широко застосовується для живлення освітлювальних приладів, трансформаторів, двигунів та ін.



З'єднання зіркою



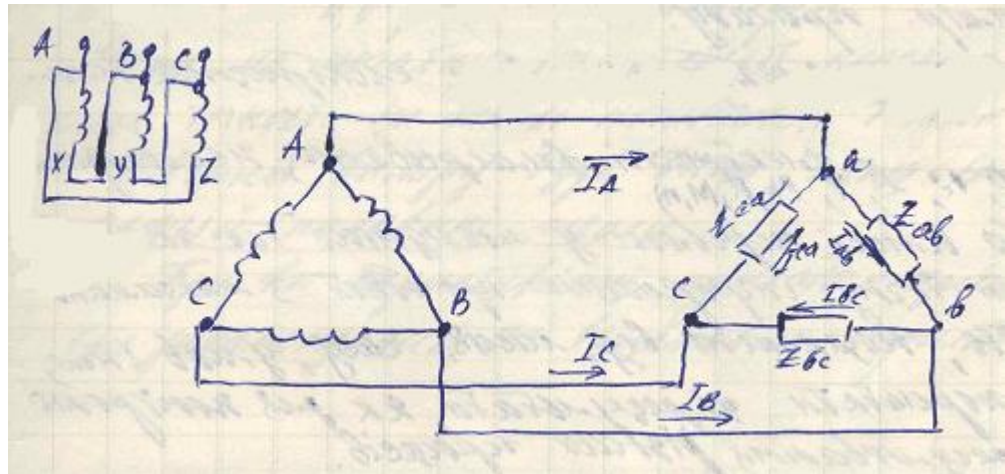
При з'єднанні зіркою кінці фаз генератора (споживача) з'єднують в одну вузлову точку (нульову або нейтральну), а початки фаз підключають до лінійних проводів.

Нульовий провід з'єднує o_c і O генератора і забезпечує рівність фазних напруг, якщо опір споживачів Z_a, Z_b, Z_c різний за величиною або характером навантаження, при к.з. обривах фаз.

Якщо $Z_a = Z_b = Z_c$; навантаження однорідне $I_0 = 0$ в 0-проводі забороняється ставити вимикачі, запобіжники.

Використовується з'єднання зіркою для підключення трансформаторів, генераторів, двигунів.

З'єднання трикутником



З'єднання трикутником застосовується в тих же випадках, що і з'єднання зіркою, якщо номінальна напруга перетворювачів $U_n = U_l$.

Потужність трифазних кіл

Для навантаження рівномірного симетричного з'єднання зіркою.

$$1. P_\phi = I_\phi U_\phi \cos \varphi_\phi \text{ (Вт)}$$

$$P_Y = 3I_\phi U_\phi \cos \varphi = 3I_l \frac{U_l}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} I_l U_l \cos \varphi$$

$$2. Q_\phi = I_\phi U_\phi \sin \varphi_\phi$$

$$Q_Y = 3Q_\phi = 3I_\phi U_\phi \sin \varphi = 3I_l \frac{U_l}{\sqrt{3}} \sin \varphi = \sqrt{3} I_l U_l \sin \varphi$$

$$3. S_\phi = I_\phi U_\phi$$

$$S_Y = 3S_\phi = 3I_l \frac{U_l}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} I_l U_l$$

Якщо навантаження фаз нерівномірне, повні потужності знаходять як суму фазних.

Для з'єднання трикутником розрахунок аналогічний.

Лекція 6

Електричні вимірювання. (2 години)

Основні питання:

- Основні визначення, види електричних вимірювань, переваги.
- Похибки, класи точності.

Основні визначення, види електричних вимірювань, переваги

Електричні вимірювання, види, переваги, класифікація вимірювальних приладів. Вимірювання – визначення невідомого значення фізичної величини дослідним шляхом з допомогою вимірювального приладу.

Види:

- Електричні вимірювання електричних величин.
- Електричні вимірювання неелектричних величин.

Особливо великі переваги у останнього, так як дозволяє одержати точну інформацію про об'єкт з максимальною швидкістю, незалежно від місця, часу, умов, а також використати ці результати, як для контролю так і для регулювання різних процесів.

Вимірювальний прилад – засіб для одержання сигналу вимірювальної інформації. Класифікація вимірювальних приладів:

- Прилади безпосередньої оцінки.
- Прилади порівняння для зрівнювання вимірюваної величини з мірою.
- За системою відліку вони діляться на: стрілочні цифрові або з дискретним відліком.
- По роду вимірювальної величини.
- По принципу дії.
- По класу точності.

Вимірювальні прилади показують діюче значення.

Похибки, класи точності

Основні похибки.

$$\Delta A = \pm(A_d - A_{\text{вим}}) \cdot 100\% \quad \gamma = \frac{\Delta A}{A_d(A_e)} \cdot 100\% \quad \gamma_{\Pi} = \frac{\Delta A}{A_H} \cdot 100\%$$

A_H - нормативне значення приладу.

Клас точності – максимальне значення γ_{Π} одержане при повірці приладу.

Існує 9 класів точності:

- Зразкові – 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.
- Технічні – 1,0; 1,5; 2,5.
- Індикаторні – 4,0; 5,0.

Якщо на початку шкали стоїть крапка – виготовлювач гарантує клас точності на шкалі починаючи тільки з неї.

Точність виміру буде вища, якщо воно проводиться в другій половині шкали. При користуванні приладом треба суворо дотримуватися всіх рекомендацій.

Лекція 7

Трансформатори (2 години)

Основні питання:

- Призначення, типи, застосування.
- Будова та принцип дії, холостий хід.
- Зовнішня характеристика трансформатора.
- Дослід з короткого замикання трансформатора.

Призначення, типи, застосування.

Трансформатор – статичний електромагнітний апарат призначений для перетворення змінного струму однієї системи напруги в змінний струм другої системи напруги (1876р., 1889р.), без зміни частоти.

Основні типи трансформаторів:

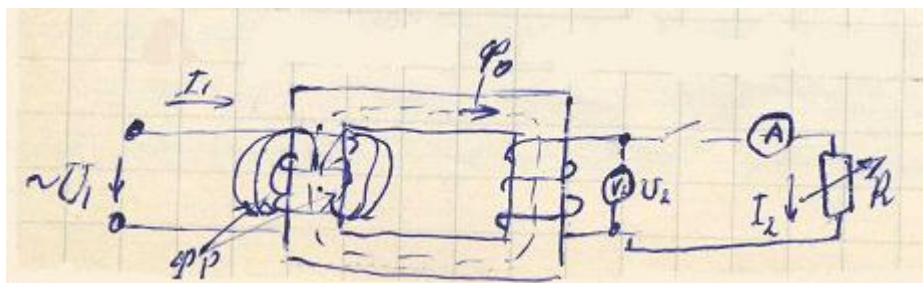
- По кількості фаз – однофазні, трифазні.
- По значенню U_2 - знижувальні, підвищувальні.
- По кількості обмоток – одно-, двох-, трьох- та багатообмоточні.

По призначенню:

- Силові або розподільвальні (ЛЕП, енергосистеми).
- Силові спеціальні (зварювальні, пічні для плавки металів).
- Автотрансформатори (для зміни U_2 в незначних межах $k \leq 1.5$ в електромережах, лабораторіях для пуску та керування АД).
- Вимірювальні (трансформатори струму Т.С. та Т.Н. для розширення меж вимірювальних приладів).
- Випрямлювальні (для тяглових підстанцій електротранспорту).
- Випробувальні (для випробування якості ізоляції).
- Радіо трансформатори (до 5 кВт, радіотехнічні пристрої).

Будова трансформатора

1. Осердя (стрижневе, броньове).
2. Обмотки первинної та вторинної напруги.



Принцип дії трансформатора оснований на взаємодукції.

Структурно-логічна схема роботи трансформатора

$$\sim U_1 \rightarrow I_1 W_1 = F_{m1} \rightarrow \Phi_1 \begin{cases} \rightarrow \Phi_0 \begin{cases} \rightarrow E_1 = 4.44 \cdot W_1 f_1 \Phi_m; \\ \rightarrow E_2 = 4.44 \cdot W_2 f_1 \Phi_m; \end{cases} \\ \rightarrow \Phi_p \rightarrow E_p \end{cases}$$

Φ_0 --- основна частина (робоча) потоку $\approx 95 \dots 97 \% \Phi_1$;

Φ_p --- частина потоку, який розсіюється $\approx 3 \dots 5 \% \Phi_1$;

Холостий хід трансформатора

Коло вторинної обмотки розімкнуте.

$$I_2 = 0 \quad U_2 = E_2$$

Дослід проводять для визначення коефіцієнту трансформації та втрат в осерді

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

$$P_{cm} = P_{x.x.} = I_{x1} U_{1n} \quad (\text{не залежить від навантаження})$$

Зовнішня характеристика трансформатора може бути побудована при його роботі на зовнішнє навантаження $I_2 > 0$

$$U_2 = E_2 - t_{02} I_2; \quad z_{02} = \sqrt{R_{02}^2 + X_{L02}^2}$$

Відсоткова зміна напруги U_2

$$\Delta U \% = \frac{U_{2x} - U_{2n}}{U_{2x}} \cdot 100\%$$

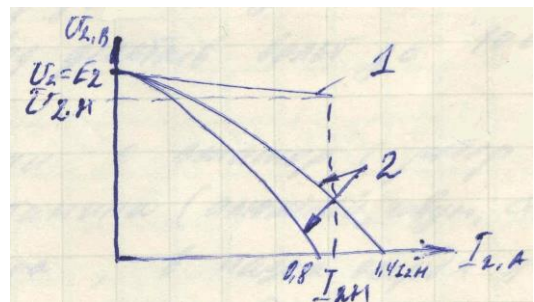
Для силових $\Delta U \% \approx 2 \dots 3\%$

1- Силовий трансформатор загально-го призначення;

2- Зварювальний трансформатор;

Коефіцієнт навантаження:

$$\beta = \frac{P_2}{P_{2n}} = \frac{U_2}{U_{2n}} = \frac{I_2}{I_{2n}}$$



Коротке замкнення трансформатора

Випадкові К. З. (а особливо між витками) призводять до аварії.

Дослід короткого замкнення проводять при зниженій напрузі

$U_{1k} \approx 5 \dots 10\% U_{1n}$, такий що струм в обмотках $I_{1k} = I_{1n}$, а $I_{2k} = I_{2n}$. Вважається що вся енергія при цьому перетворюється обмотками в тепло (втратами P_{cm} нехтують).

$$P_k = P_{k1} + P_{k2} = R_{10} I_{1n}^2 + R_{02} I_{2n}^2$$

Втрати P_k змінні і залежать від β .

К.К.Д. трансформатора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_{cm} + P_k} \cdot 100\% = \frac{\beta \cdot S_{2n} \cdot \cos \varphi_2}{\beta \cdot S_{2n} \cdot \cos \varphi_2 + P_{cm} + \beta^2 P_{k.ном}^2}$$

Максимальний К.К.Д. при $\beta \approx 0.8$ (при цьому $P_x = P_k$)

Лекція 8

Електричні машини змінного струму

(6 годин)

Основні питання:

- Призначення, типи, переваги, будова;
- Принцип дії 3 фазних АД, ковзання, пускові якості, $M = f(s)$;
- Механічні характеристики АД;
- Пуск, регулювання швидкості, реверс, втрати і η

Електричні машини змінного струму

Електричні машини змінного струму застосовують в якості генераторів 3 фазного струму (однофазного) електростанцій, автомобілів та ін., а також в якості електродвигунів (одно-, дво- або трифазних) асинхронних та синхронних.

Найбільш поширеними є 3 фазні асинхронні двигуни; прості дешеві, надійні, економні, легко керуються, мають високі η . Їх використовують для приводів, насосів, вентиляторів, побутових механізмів верстатів, підйомних механізмів, іншого технологічного устаткування.

Номинальна потужність АД від 3-4 Вт до 10000 Вт;

Швидкість від десятків до тисяч об/хв;

Робоча напруга від десятків В до 10000 В;

Основними частинами є статор і ротор.

Статор-станина (алюміній, чавун, сталь).

- Осердя статора. В пазах осердя укладають обмотку. Число секцій на фазу дорівнює числу пар полюсів.
- Клемний листок.
- Кришка з підшипниками.

Ротор-рухома частина:

- Сталевий вал;
- Осердя ротора;
- Обмотка коротко замкнута або фазна;

При фазній обмотці струмоз'ємний пристрій з кілець і щіток для підключення зовнішнього реостату.

Принцип дії АД

Принцип дії АД оснований на взаємодії обертового магнітного поля статора з струмом, який воно наводить в обмотці ротора.

Для одержання МП статора необхідно щоб обмотки фаз статора були зсунуті в просторі, а струми в них відрізнялись по фазі на 120° .

Тоді швидкість МП статора:

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}; \text{ об/хв}$$

Основні типи АД:

$$p=1 \quad n_1 = \frac{60 \cdot 50}{1} = 3000 \text{ об/хв}$$

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

$$p=3 \quad n_1 = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ об/хв}$$

$$p=4 \quad n_1 = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ об/хв}$$

Е.Р.С. ротора:

$$E_2 = 4.44 \cdot W_2 f_2 \Phi_m$$

Струм $I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}}$; в момент запуску E_2 -мах а $I_{2n} \approx 4...7 I_{2н}$. Напряг руху

ротора співпадає з МП статора, але його швидкість менша. Ступінь відставання ротора визначається ковзанням.

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \approx 0.02...0.06 \text{ (2...6\%)}$$

при пуску $n_2 = 0$, $s = 1.0$, $f_2 = f_1$, $E_2 = E_{2\max}$

по мірі розгону n_2 може зрівнятися з n_1 тоді $s = \frac{0}{n_1} = 0$ (ідеальний холостий хід)

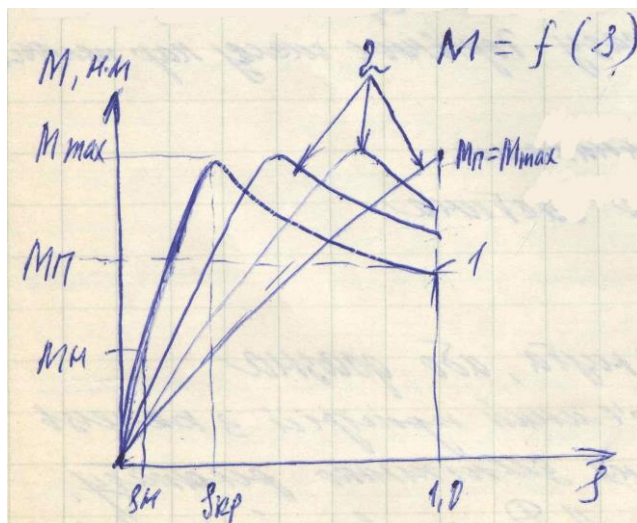
$$f_{2s} = f_1 \cdot s = 0; \quad E_2 = 0; \quad U = 0; \quad M = 0$$

Обертний момент

$$M = K_m \cdot \Phi \cdot I_2 \cdot \cos \varphi_2 \quad (K_m - \text{const залежить від конструкції})$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \text{ при пуску } X_2 \gg R_2, \text{ а } \cos \varphi_2 \approx 0.18...0.3 \text{ (} \cos \varphi_{2н} \approx 0.9 \text{)} \text{ що ав-}$$

томатично визиває $I_n \approx 4..6 I_{2н}$. В міру розгону ротора $\cos \varphi_2$ збільшується а I_2 зме-
ншується до звичайного розміру.



$$\text{Пускові якості: } \frac{M_n}{M_{\text{н}}} \approx 0.8...1.6$$

Перевантажувальна здатність:

$$\frac{M_{\max}}{M_M} \approx 1.8...1.6$$

$$\frac{I_n}{I_M} \approx 4...7$$

$$s_{\text{кр}} \approx 0.2...0.6$$

Недолік АД—незначний МП.

Тому потужні двигуни

$$P \geq 10...100...1000 \text{ кВт}$$

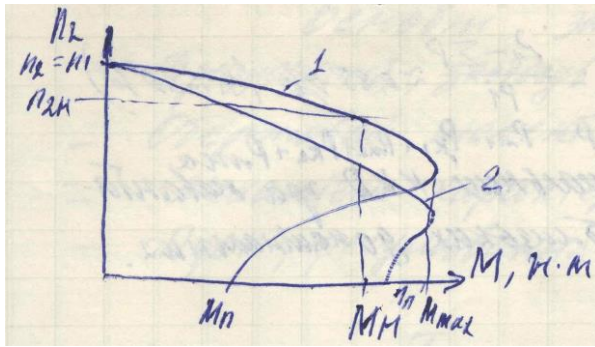
можуть пускатися без навантаження.

Для підвищення МП в АД з фазним ротором можна використовувати змінний реостат.

Механічні характеристики АД

$n_2 = f(M)$ мають вигляд:

- 1--- Для коротко замкнутих;
- 2--- Для фазних роторів;



Механічна характеристика АД з коротко замкнутим ротором жорстка, так як n_2 від навантаження змінюється мало.

Швидкість * $n_2 = n_1(1-s)$ об/хв.

Пуск

Час пуску $t_n \approx 0.3$ с, але великий пусковий струм може визвати аварійний стан.

Двигуни потужність до 10 кВт, як правило, включають на повну напругу мережі (прямий пуск).

Для обмеження І двигуна середньої потужності (10...100 кВт) пускають при пониженій напрузі:

- реостатні;
- автотрансформаторні;
- реакторний;

З переключенням обмоток статора з Δ на Y в АД з фазами ротора вмикають зовнішній R_n .

АД великої і надвеликої потужності мають для цієї мети спеціальну обмотку ротора:

- з глибоким пазом;
- з двійною більчиною клікою;

Регулювання швидкості

З * видно що

$$n_2 = \frac{60f_1}{P}(1-s),$$

таким чином швидкість АД можна міняти змінюючи f_1 або змінюючи число пар полюсів p .

Змінюючи $U_{\text{мережы}}$ можна поступово змінювати n_2 , та слід пам'ятати що $M \equiv U_m^2$.

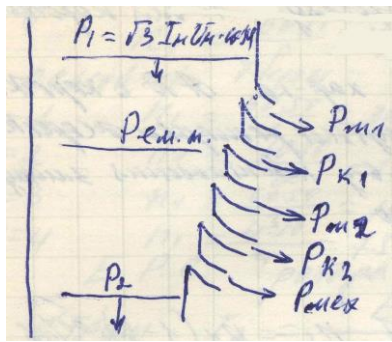
А в АД з фазним ротором використовують зовнішній реостат.

Реверс

Змінити напрям обертання АД можна, якщо 2 любих проводи підведеної напруги поміняти місцями.

Витрати і η

Енергетична діаграма АД



$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \sum P}{P_1} \approx 0.85 \dots 0.9 \quad (85 \dots 95 \%)$$

Сумарні

$$\sum P = P_{м1} + P_{к1} + P_{м2} + P_{к2} + P_{сех}$$

Найоптимальніший К.К.Д. при навантаженнях, близьких

Лекція 9

Електричні машини постійного струму (4 годин)

Основні питання:

- Призначення, застосування, будова, принцип дії ДПС;
- Обертовий момент, пускові якості;
- Механічні характеристики;
- Пуск, регулювання швидкості, реверс, тормозіння;

Призначення, типи, застосування ДПС

Машини постійного струму широко застосовуються в якості генераторів, двигунів а іноді електромагнітних підсилювачів потужності.

Головними їх перевагами є великі пускові моменти, можливість глибокого регулювання швидкості та інше. До недоліків слід віднести більш складні, менш надійні, потребують постійного обслуговування, можуть заважати радіомережам. Генератори постійного струму застосовуються в автотранспорті, авіації, електрозварюванні та інше.

Двигуни постійного струму застосовуються в електротранспорті, металургії, верстатах, обчислювальних лініях, побутових приладах, авіації. Цінною якістю її є те, що вони успішно працюють як від мережі постійного так від мережі змінного струму і являються універсальними в роботі.

Будова

Будова ГПС і ДПС аналогічна.

- **нерухома частина – статор** має чавунну або сталеву станину до якої кріпляться головні магніти (постійні магніти або котушки з осердям);
- в пазах полюсних наконечників вкладається компенсаційна обмотка (боротьба з електроутворенням);
- між головними магнітами ставляють додаткові електромагніти, які покращують комутацію;
- щіткоутримувач з направляючими, щітками;
- клемний місток;
- **якір – рухома частина;**
- сталевий вал;
- осердя, в пазах якого вкладають секції обмотки якоря;

Кінці секції з'єднують з пластинами кільцевого колектора.

Колекторно-щітковий механізм забезпечує ковзаючий контакт між обмотками якоря та зовнішньою мережею, а також є електромеханічним випрямлячем.

Принцип дії ДПС оснований на взаємодії магнітного потоку полюсів зі струмом обмотки якоря. $R_{зб} \gg R_{я}$

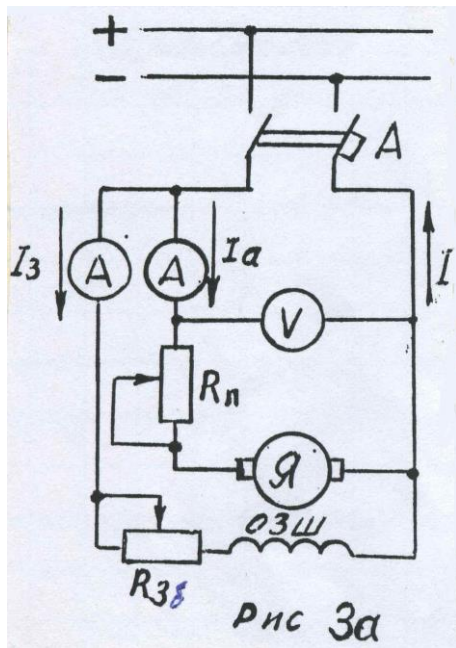
Обертовий момент та пускові якості

По способу підключення обмотки збудження і обмотки якоря ДПС бувають:

- паралельного;

- послідовного;
- змішаного збудження;

Обертовий момент двигуна



$$M = \frac{P \cdot N}{2\pi a} \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}, \text{ Нм}$$

де

P – число пар полюсів;

a – число пар паралельних гілок;

N – число активних провідників;

Φ – магнітний потік полюсів;

$$\frac{P \cdot N}{2\pi a} = C_M \text{ (магнітна постійна)}$$

$$\text{тоді } M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} \text{ (Нм)} \quad \left(M = \frac{60}{2\pi} \cdot \frac{P_2}{n} = 9.55 \frac{P_2}{n}, \right.$$

Нм)

$$\text{Пусковий струм } I_n = \frac{U_m}{R_{\text{я}}} = 20 \dots 30 I_n$$

Для зменшення пускового струму викорис-

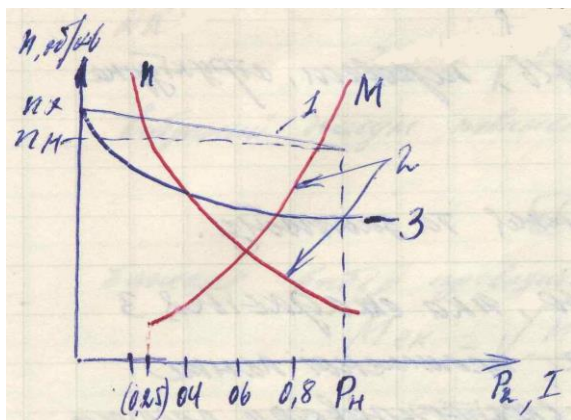
товують пусковий реостат R_n , тоді

$$I_n = \frac{U_m}{R_{\text{я}} + R_n} = 2 \dots 2.25 I_n$$

Проти ЕРС $E_{\text{я}} = c_e \cdot n \cdot \Phi$ при номінальній швидкості досягає 90...98 % U_n , а струм $I_n = \frac{U_n - E}{R_{\text{я}}}$ тому R_n виводять в положення 0.

Пусковий момент ДПС $M_{\text{п}} \equiv I_{\text{я}}^2$ і досягає великих значень, що і дозволяє їх використовувати в електротранспортних засобах, ПТМ, приводів коротких станів та інше.

Механічні характеристики



$$\text{Швидкість ДПС } n = \frac{E_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi} = \frac{U_n - U_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi}$$

об/хв

$$\text{де } C_e = \frac{P \cdot N}{60a} \text{ -- константа. } U_{\text{я}} = R_{\text{я}} \cdot I_{\text{я}}$$

Потужність на валу двигуна

$$P_2 = \frac{M \cdot 2\pi n}{60}, \text{ Вт}$$

Механічні характеристики $n = f(P_2)$

1. ДПС з паралельним збудженням;

2. ДПС з послідовним збудженням;

3. ДПС з змінного збудження;

Регулювання швидкості, тормозіння, реверс ДПС

З $n = \frac{U_m - (R_{\text{я}} + R_{\text{рег}}) \cdot I_{\text{я}}}{C_e \cdot \Phi}$ видно, що швидкість обертання двигунів можна регулювати змінюючи напругу, яка поступає з мережі U_m , включенням в коло якоря регулювального реостата $R_{\text{зб}}$.

В ДПС крім звичайного тормозіння можна використовувати генераторне або рекуперативне, що дозволяє енергію тормозіння активно економити.

Змінити напрям руху ДПС можна, якщо поміняти місцями затискачі ОЯ або ОЗ. Одночасна зміна затискачів не приведе до реверсу.

Витрати і η

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U \cdot I - (P_{\text{см}} + P_{\text{мех}} + P_e + P_{\text{ждат}})}{U \cdot I} \cdot 100\% = 75\ldots 93\%$$

Іскроутворення під щітками (блакитний вогонь) можуть викликати при реакції якоря, незадовільній комутації, в результаті спрацювання щіток, незадовільного стану колектора то його еліпсності.

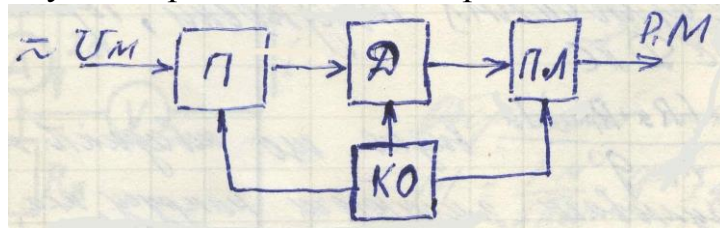
Лекція 10

Електропривод (2 годин)

Основні питання:

- Призначення, види приводів, переваги, структурна схема електроприводу;
- Вибір електродвигуна
- Апаратура пуску, керування та захисту

Частина машинного пристрою, яка складається з перетворювача напруги, електродвигуна, проміжної ланки і апаратури керування називають електроприводом робочого механізму. Він призначений для переведення машини в робочий



стан.

Види приводів:

- Груповий – один двигун приводить в рух декілька автономних механізмів (морально застарілий);
- Однодвигунний – невеликі верстати, вентилятори;
- Багатодвигунний – кілька і більше двигунів обслуговують складний механізм (прогресивний);

Переваги електроприводу:

- Широкий діапазон потужності і швидкості;
- Можливість регулювання швидкості (1:100);
- Сприятливі механічні характеристики можуть задовольнити любий механізм;
- Можливість автоматизації;
- Можливість роботи в різних умовах;
- Великий η ;
- Екологічність;

Вибір електродвигуна

Конструктивно двигуни вибирають згідно зі способом з'єднання або установки в Р. М.

- згідно з умовами оточуючого середовища способу підключення;
- при виборі обов'язково враховують всі електричні мережі живлення (габарити, маса, надійність і т.д.)

Вибір потужності проводять по каталогу з умовою, що $P_n \geq P_{p.m.}$

Для довгого режиму роботи (насоси, вентилятори, компресори) вибір рекомендують проводити по еквівалентному струму нагрівання

$$I_{ек} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

вибраний двигун повинен відповідати умові $I_{н.м} \geq I_{ек}$

Для короткого режиму роботи бажано вибір проводити по $M_{ек}$

$$M_{ек} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

при цьому D повинен відповідати умові $M_n \geq M_{ек}$

При необхідності його перевіряють на перевантажувальну здатність

$$\lambda = \frac{M_{\min}}{M_n} < M_{\max}(\text{двигуна})$$

Для повторно-короткочасного режиму роботи.

Для таких двигунів указують час роботи (тривалість включення), або ТВ

$$\text{тривалість включення } ТВ = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + t_0} \bullet 100\% \text{ або } ТВ = \frac{t_\varphi}{t_\varphi + t_0}$$

Стандартний ТВ – 15, 25, 40, 60 %

Цей розрахунок допускається, якщо тривалість роботи не перевищує 10хв.

$$P_{ек} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}$$

Потім по каталогу для кранових, або інших двигунів знаходять двигун.

Якщо знайдена ТВ не відповідає стандартній, то його значення перераховують на стандартне ТВ

$$P'_{ек} = P_{ек} \frac{\sqrt{(ТВ)1}}{(ТВ)2}$$

Апаратура пуску, керування та захисту

Забезпечує дистанційний пуск, керування та захист двигунів. До ручної апаратури відносяться: рубильники, пакетні вимикачі, контролери, шляхові вимикачі, командоконтролери, універсальні перемикачі, кнопки, резистори.

Для дистанційного керування використовують: автоматичні повітряні вимикачі, контактори, магнітні пускачі, реле програмні, реле часу, тиристори

Для захисту двигунів використовують: теплові реле, плавкі запобіжники, реле максимального струму, реле напруги та ін.

Лекція 11

Електрофізичні властивості напівпровідників (1 година)

Основні питання:

- предмет електроніка
- напівпровідники, їх властивості, електропровідність, переваги п/н приладів
- р-п перехід, його властивості

Предмет електроніка

Електроніка— напрям електротехніки, який на базі досліджень процесів і явищ, зв'язаних з електричними розрядами в вакуумі, газах, напівпровідниках розробляє, випускає і експлуатує електронні пристрої в різних напрямках людської діяльності.

Промислова електроніка вирішує питання застосування електронних пристроїв в промисловості, транспорті, електроенергетиці. До неї входять:

- інформаційна електроніка – пристрої для контролю вимірювання і керування виробничими і технічними процесами;
- енергетична електроніка (перетворювальна техніка);
- електронні технології

Напівпровідники

Напівпровідникові матеріали – тверді кристалічні тіла (з ковалентними зв'язками між атомами), по своєму питомому опору ($\rho=10^{-3} \dots 10^{10}$ Ом.см), займають проміжну область між провідниками ($\rho=10^{-6} \dots 10^{-3}$ Ом.см) та діелектриками ($\rho=10^{10} \dots 10^{15}$ Ом.см)

Для виготовлення напівпровідникових приладів широко застосовують германій, кремній, селен, телур, деякі окисли, сульфід, карбід.

Електричний струм в Н.П. визначається направленим рухом “-” та “+” зарядів.

В “чистих” Н.П. спостерігається власна електропровідність, т. я. при порушенні ковалентних зв'язків утворюються електрони і дірки в рівних кількостях.

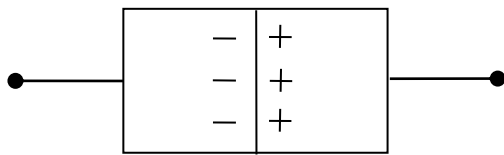
Для одержання направленої типу провідності в один Н.П. вводять домішок іншого Н.П., при цьому можуть утворюватись Н.П. з р або n провідністю.

Переваги н/п приладів:

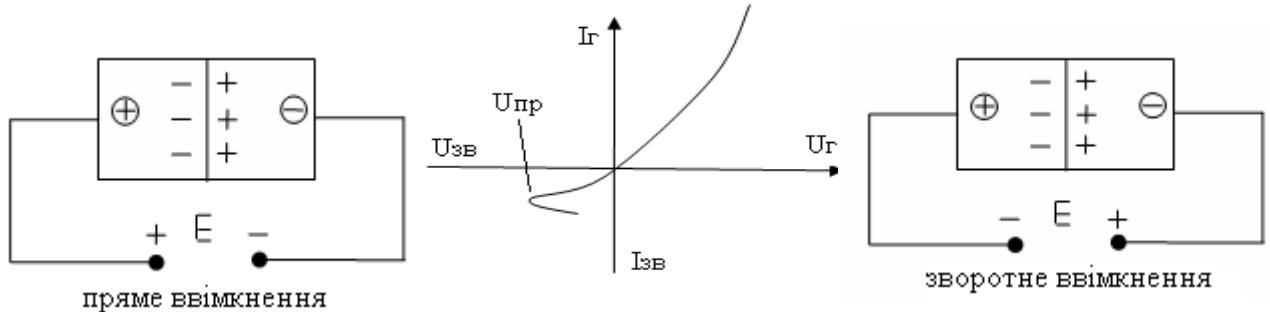
- висока надійність
- малі розміри і маса
- високий ККД (до 99%)
- відсутність нагрівання
- необмежений строк служби
- До недоліків слід віднести:
 - залежність параметрів від випадкових домішків
 - залежність параметрів від температури, опромінення
 - складність технологій

p-n перехід

Виникає на межі (в місці контакту) двох Н.П. *p* і *n* типу, який можна одержати сплавленням, або методом дифузії.



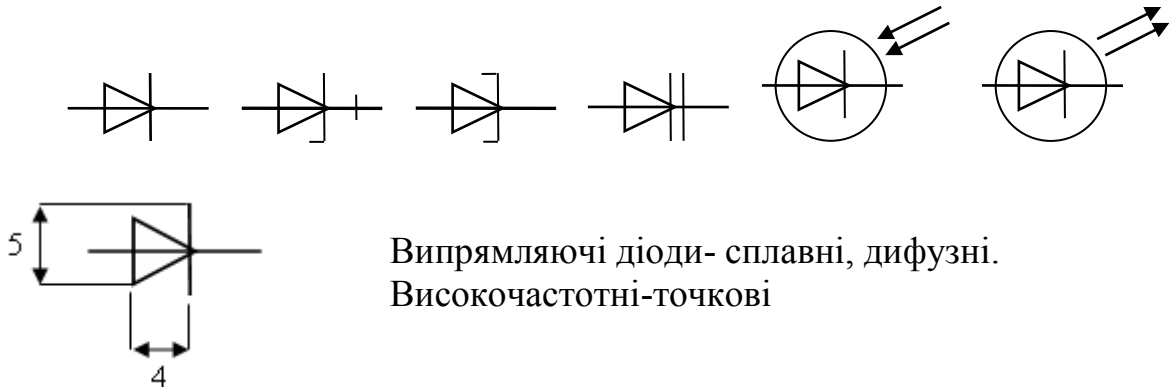
Його створюють електрони та дірки, які не компенсувались при переміщенні в протилежні області і утворили подвійний запираючий шар



Головна якість *p-n* переходу – одностороння провідність, що дозволяє його широко застосовувати в діодах для перетворення змінного струму в постійний

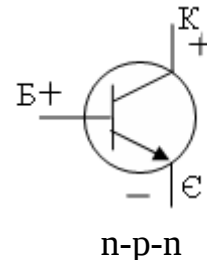
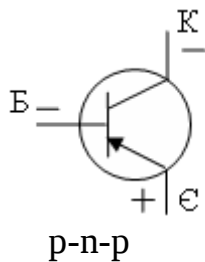
Н.П. діод

Н.П. прилад, який складається з одного *p-n* переходу і двох зовнішніх електродів (розміщують в герметичному корпусі). Типи : малопотужні ($I_{сер} < 0,3A$), середньої потужності ($I_{сер} < 10A$) і силові вентелі ($I_{сер} \geq 10A...1000A$)



Випрямляючі діоди- сплавні, дифузні.
Високочастотні-точкові

Транзистори



Лекція 12

Електронні випрямлячі (2 години)

Основні питання:

- визначення, призначення, застосування, типи, структурна схема
- робота найпростіших схем випрямлячів

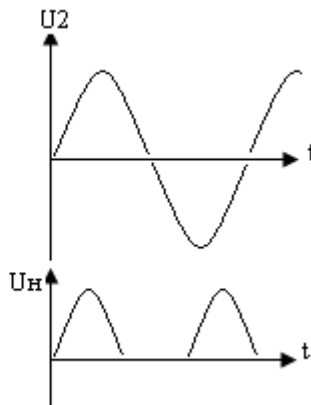
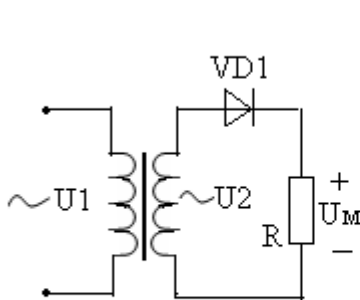
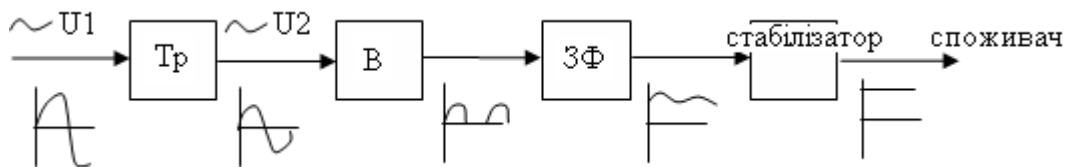
Випрямлячі

Випрямляч – пристрій, який перетворює змінний струм в постійний. Вони являються основним джерелом енергії постійного струму, які використовуються в радіоелектронних пристроях, електротранспорті, гальваніці, зварювальних апаратах, пристроях автоматики, двигунах та інше.

Основні типи випрямлячів

- однофазні та 3 фазні
- одно, двухнапівперіодні
- некеровані та керовані

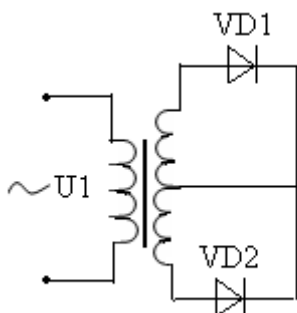
Структурна схема:



$$U_0 = 0,318U_{2m} = \frac{U_{2m}}{\pi} = 0,45U_2$$

$$f_n = f_m$$

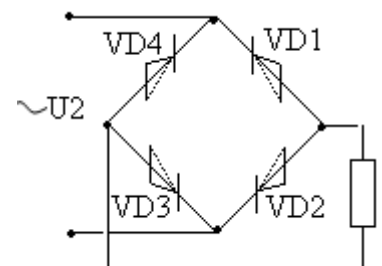
$$k_n = \frac{U_{nm}}{U_0} = 1,57$$



$$f_n = 2f_m$$

$$U_0 = 0,636U_{2m} = 0,9U_2$$

$$k_n = 0,67$$



Лекція 13

Електронні підсилювачі (2 години)

Основні питання:

- призначення, типи підсилювачів
- характеристики
- робота найпростіших схем підсилювачів попереднього підсилення
- вихідні ланки підсилення

Призначення, типи підсилювачів

Підсилювач – пристрій, яким можна підсилити потужність електронних сигналів не міняючи їх частоти та форми. Це найпоширеніша електронна ланка різних р/т пристроїв.

По призначенню їх ділять на підсилювачі напруги, струму та потужності.

По виду підсилювальних сигналів вони бувають підсилювачами гармонійних коливань та імпульсів.

По характеру зміни в часі підсилювальних сигналів вони діляться на підсилювачі $-I$, $i \sim I$.

По частоті:

- підсилювачі низької частоти (звукової) – аудіотехніка, наукові пристрої
- f від 20 Гц до 20 000 Гц.
- підсилювачі постійного струму (вимір. техніка, наукова апаратура)
- $f_n = 0$ Гц $f_{\text{вис}} \geq 300$ кГц
- вузькополосові (відбірккові), резонансні – р/т і зв'язок, телемеханіка, наукові та вимірювальні пристрої

$$\frac{f_{\text{вис}}}{f_n} \leq 1,1$$

- широкополосні (імпульсні) – телебачення, ЕОМ, вим. техніка, телемеханіка

По виду зв'язку між ланками: з РС зв'язком, трансформаторним, резонансно-трансформаторним.

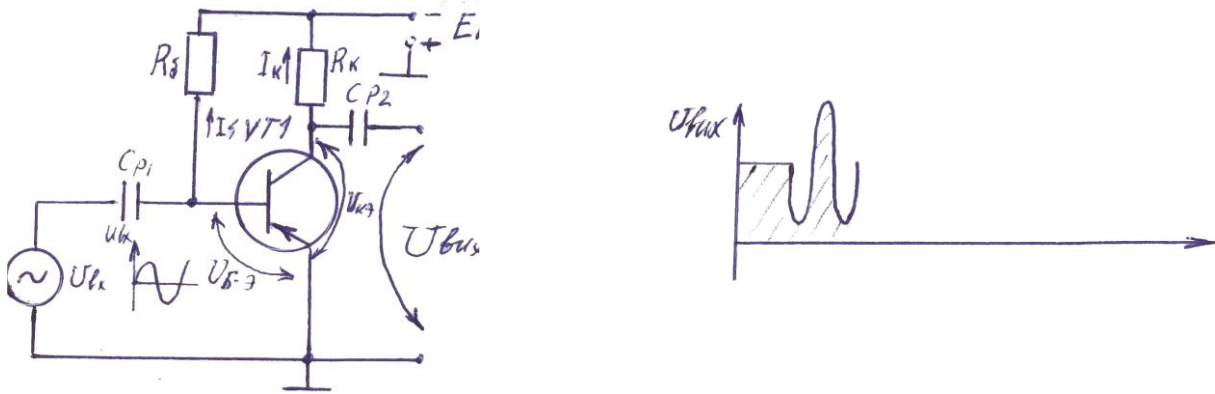
Основні характеристики

- коефіцієнт підсилення
- $k = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$, для багатоланкових $k = k_1 \cdot k_2 \dots k_n$
- $\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_0} \cdot 100\%$
- Значення $R_{\text{вх}}$, $R_{\text{вих}}$
- діапазон підсилюваних частот
- чутливість
- лінійні $k=P(f)$, фазові спотворення
- рівень власних шумів та перешкод
- вихідна потужність

- одно, двох та багатоланкові підсилювачі

Звичайно підсилювач має вхідну, вихідну та проміжні ланки підсилення.

Найпростіші ланки транзисторних підсилювачів



Структурно-логічна схема роботи підсилювача

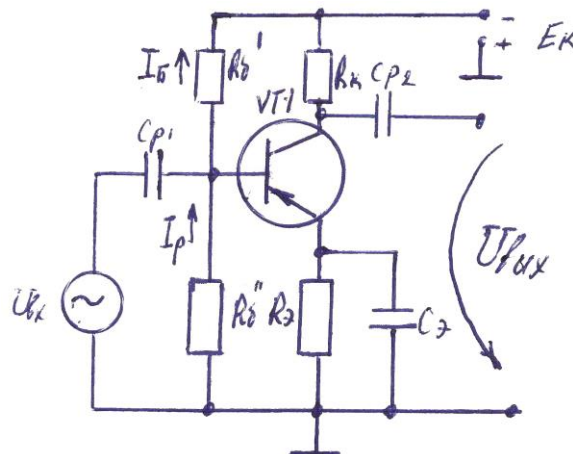
$$U_{мвх} \rightarrow I_{бт} \rightarrow I_{кт} \rightarrow I_{кт} \cdot R_K \rightarrow (U_{кэм} = E_K - I_{кт} \cdot R_K = U_{мвх} \gg U_{мвх})$$

Для захисту від спотворень, визваних випадковими коливаннями напруги джерела, послідовно з R_6 включають R_6'' таким по величині, щоб

$$R = \frac{E_K \cdot U_{бэ} R}{I_{бр}} \approx \beta \frac{E_K}{I_{кр}}; \text{ при цьому струм розподілювача напруги } I_{розп} \approx 2...5 I_{бр}$$

Для захисту ланки підсилювача від температурних нестабільностей транзистора в коло емітера можна включити R_e . Для зменшення відхилень високої частоти паралельно R_e включають C_e .

В цьому випадку схема ланки з захистом від різних відхилень і перешкод має вигляд:



Вихідні ланки підсилення

Вихідні ланки призначені для передачі споживачу заданої потужності підсиленого сигналу.

Робота цих ланок зв'язана з віддачею в навантажувач значної потужності, а отже споживанням великої потужності від джерела.

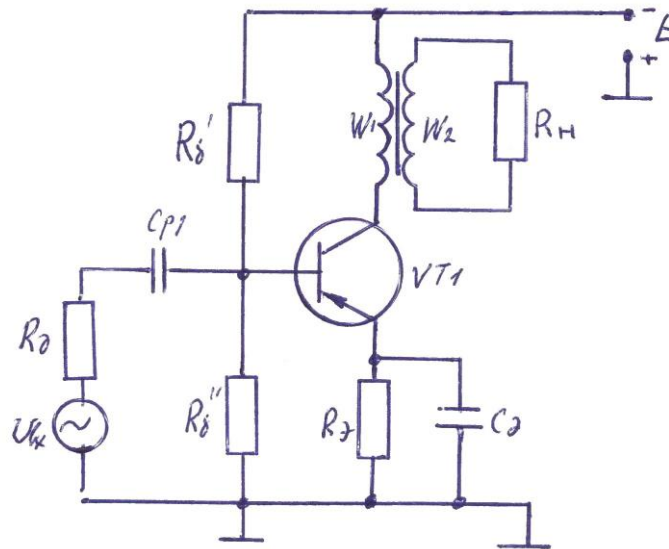
Тому велике значення має η (економічність вихідних ланок).

Види вихідних ланок:

- однокантні та двокантні
- з трансформаторним та безтрансформаторним виходом.

Вихідні трансформатори застосовують для узгодження малого вихідного опору транзистора з великим опором завантаження.

Це зменшує втрати потужності джерела і збільшує η , а також зменшує температуру транзистора



Лекція 14

Електронні генератори та логічні елементи (6 годин)

Основні питання:

- призначення, основні типи, застосування електронних генераторів
- робота LC автогенератора гармонічних коливань
- робота RC автогенератора низької частоти
- генератори імпульсів, мултивібратор
- логічні елементи, їх типи, застосування, таблиці вірогідності
- схеми основних типів логічних елементів

Електронний генератор

Електронний генератор – пристрій, перетворюючий енергію постійного струму джерела в енергію змінного струму бажаної форми, амплітуди та частоти.

По формі вихідної напруги:

- генератор синусоїдальних коливань
- релаксаційні Г (генератори імпульсів)

По типу коливального контура: RC, LC

По способу виникнення коливань:

- автогенератори
- з незалежним збудженням (від зовнішнього джерела коливань)

По частоті коливань

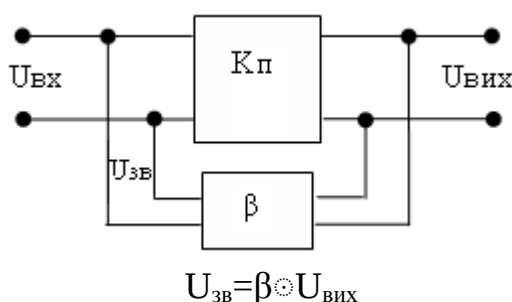
- ГНЧ – f від 0,01 кГц до 100 кГц
- ГВЧ – f від 100 кГц до 100 МГц
- ЗВЧГ – $f > 100$ МГц

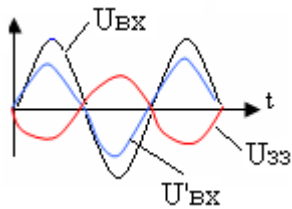
Електронні генератори широко застосовують в вимірювальних пристроях, керуючих схемах в радіотехніці, для живлення технологічних установок ультразвукової обробки матеріалів, діелектриків, електронагрівальних пристроях, медицині, телебаченні, ЕОМ, мікроскопії.

LC-автогенератори

В цілому генератор – це підсилювач з позитивним зворотнім зв'язком.

Зворотній зв'язок виникає, якщо частину енергії з виходу підсилювача подати на його вхід.



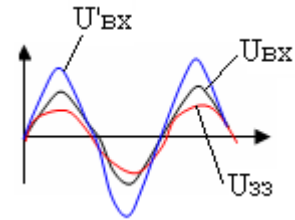


коефіцієнт підсилення при “–
з.з.”

$$k_{\beta} = 1 + (\pm \beta k); \quad k_{\beta} = 1 - \beta k$$

Де β -глибина з.з. $\beta = \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вих}}}$;

“–з.з.” використовують в підси-
лювачах для боротьби з спотворенням
високих частот



коефіцієнт підсилення при
“+з.з.”

$$k_{\beta} = 1 - \beta k$$

застосовують в електронних гене-
раторах

Для самозбудження автогенератора необхідне виконання двох вимог:

- умови балансу фаз $(\varphi_k + \varphi_{\beta} = 2\pi n)$
- умова балансу амплітуд $(k\beta \geq 1)$

Робоча частота Г-ра визначається параметрами коливального контура (ко-
ливальної системи)

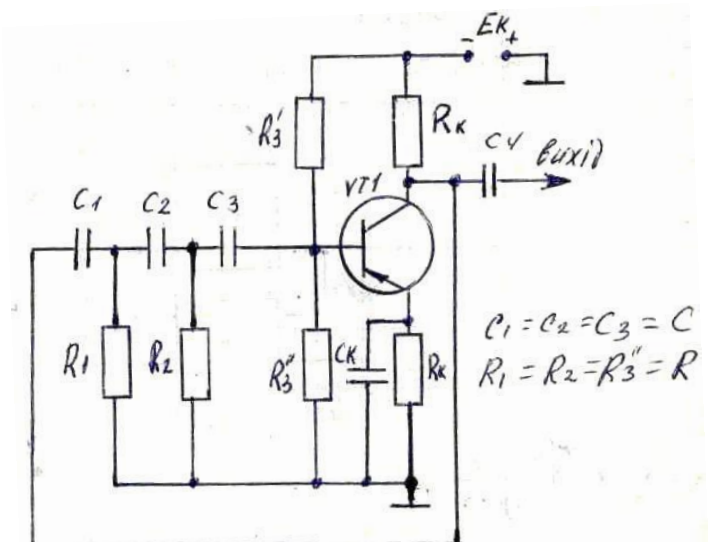
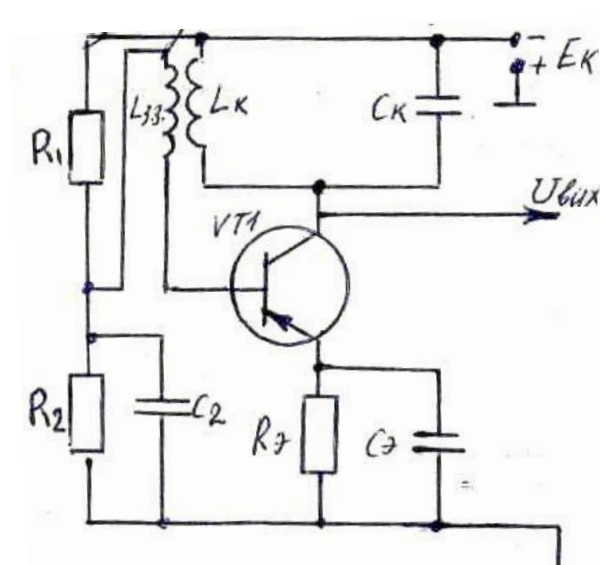
$$\text{LC:} \quad f_k = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}; \Gamma_{\text{ц}}$$

$$\text{RC:} \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}}; \Gamma_{\text{ц}}$$

$$f_0 = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}; \Gamma_{\text{ц}}$$

LC, RC автогенератори

- з індуктивним зворотнім зв'язком;
- - з трьохточковим з.з. (індуктивна трьохточка, ємнісна трьохточка);



$$\text{Частота генерації } f_r = \frac{1}{2\pi RC} \cdot \sqrt{\frac{R}{6 \cdot R + R_{\text{вих}}}}$$

LC – використовують у високочастотних пристроях;

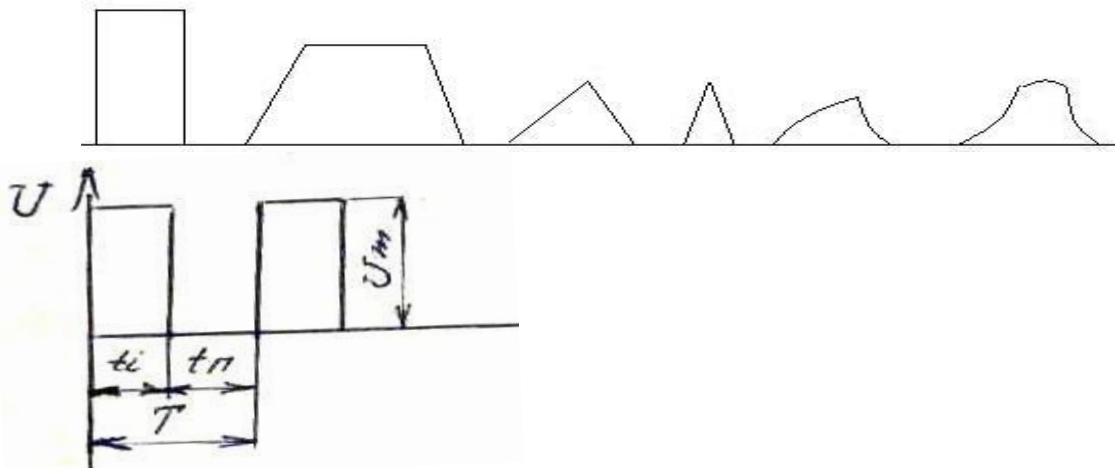
RC – використовують у низькочастотних пристроях;

Стабілізація частоти генераторів досягається з допомогою кварців (на фіксовану частоту), а також з застосуванням високо стабільних резисторів, конденсаторів, індуктивностей і високим коефіцієнтом температурної нестабільності; інколи генератори розміщують в термостатах з постійною температурою всередині.

Генератори імпульсів

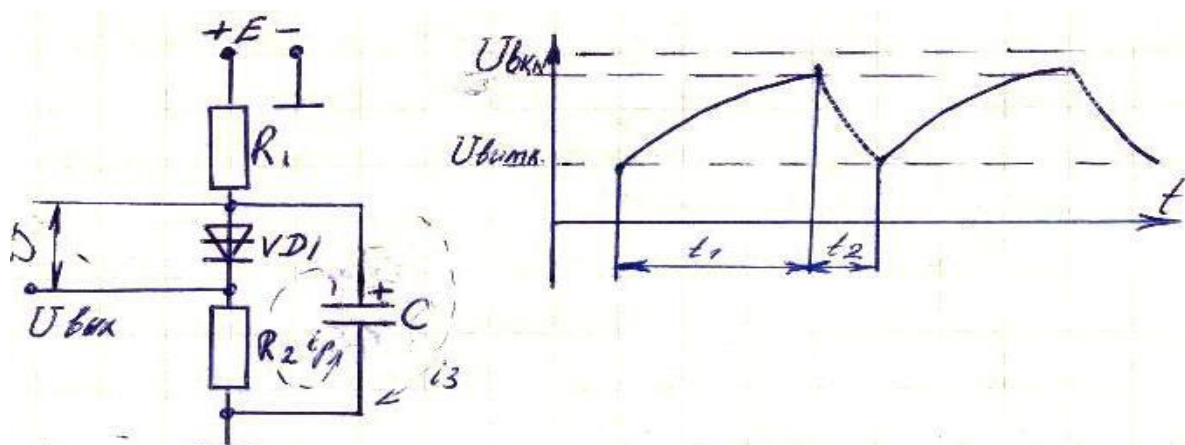
Імпульс – короткочасне змінення напруги (струму) в електричному колі.

Найбільш вживаними являються імпульси:



Імпульсні пристрої широко використовуються (включно з цифровими або логічними); широко застосовують в електроніці – вимірювальна техніка, перетворювальні пристрої, ЕОМ, радіолокація; також в автоматичі, телебаченні та інше.

Схема генератора імпульсів на диністорі



Мультивібратор

М. Використовують для отримання імпульсів прямокутної форми.

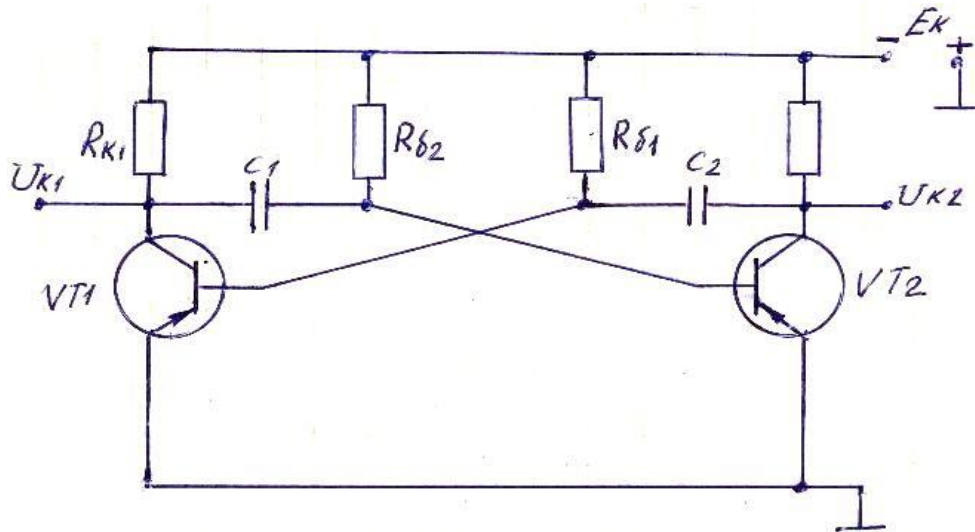
Типи: симетричні і несиметричні, автогенератори і з зовнішнім збудженням.

Напруга на виході мультивібратора (U_{k1}, U_{ka})

$$U_k = \frac{E_g}{1,2...1,3} \cdot B$$

Час періоду $T = 1,4 \cdot R_{\sigma} \cdot C_{\sigma}$

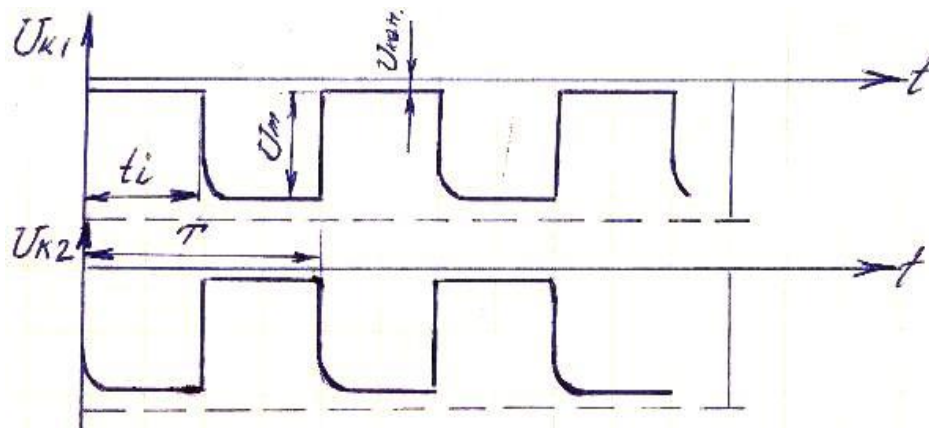
Час імпульсу $t_u = 0,7 \cdot R_{\sigma} \cdot C_{\sigma}$



Симетричний м-р має рівнозначні параметри обох частин.

$$R_{k1} = R_{k2}, R_{b1} = R_{b2}, C_1 = C_2.$$

Основні характеристики транзисторів також максимально співпадають.



Логічні елементи

Логічні елементи використовують для виконання простих логічних операцій над цифровою інформацією. Сучасною промисловістю вони випускаються в основному в інтегральному виконанні.

Рішення цифровими ЕОМ часто зв'язані зі складними багатофакторними задачами (управління космічними об'єктами, вибір раціональних технологічних процесів, прогноз погоди, переклади з однієї мови на іншу і т.п.).

Але при рішенні найскладніших завдань в основі роботи обчислювальних пристроїв використовуються прості положення математичного апарату алгебри логіки. В булевій алгебрі всі змінні та їх функції можуть приймати два значення "0" і "1". Над змінними можуть виконуватись три основні дії: логічне складання, логічне перемноження та логічне заперечення.

Логічна функція АБО (диз'юнкція) позначається $F = A \vee B$ ($F=A$ або B).

Логічна функція І-логічне помноження (кон'юнкція). $F = A \wedge B$ ($A \cdot B$) $F=A$ і B .

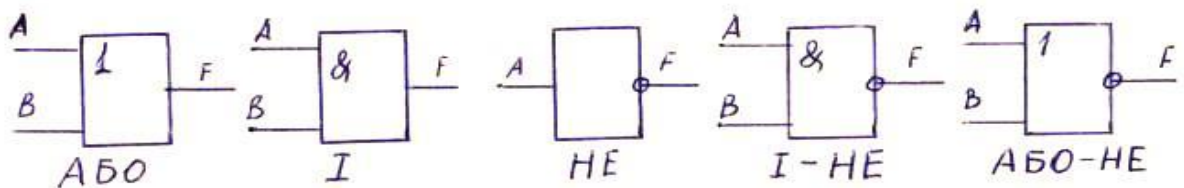
Логічна функція НЕ (інверсія) $F = \bar{A}$ (А дорівнює не В).

Більш складними є функції: І-НЕ- заперечення кон'юнкції (операція Шеффера). $F = \overline{A \cdot B}$. АБО-НЕ- заперечення диз'юнкції (операція Пірса) $F = \overline{A \vee B}$.

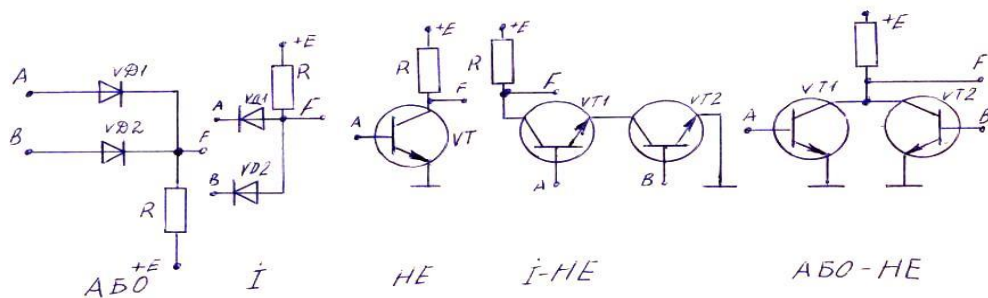
Відповідно з приведеними аргументами може бути складена таблиця вірогідності.

A	B	F			
		АБО	І	І-НЕ	АБО-НЕ
0	0	0	0	1	1
0	1	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0

Умовне зображення логічних елементів



Реалізувати логічні елементи в пристроях електроніки можна з допомогою як дискретних способів, так і в інтегральному виконанні.



Основні типи логічних елементів

- з діодно - транзисторною логікою;
- з транзисторною логікою та резистивним зв'язком;
- з транзисторно-транзисторною логікою;
- з транзисторною логікою.