

ТРИФАЗНІ СИСТЕМИ СИНУСОЇДНОГО ЗМІННОГО СТРУМУ.

1. Основні поняття трифазних кіл синусоїдного змінного струму .

1.1. Фізична сутність, переваги та значення трифазних кіл синусоїдного змінного струму в електротехніці.

Трифазне коло є окремим випадком багатофазних електричних систем, що є сукупністю електричних кіл, в яких діють ЕРС однакової частоти, зсунуті по фазі щодо один одного на певний кут. Відзначимо, що звичайно ці ЕРС, в першу чергу в силовій енергетиці, є синусоїдні. Проте, у сучасних електромеханічних системах, де для управління виконавчими двигунами використовуються перетворювачі частоти, система напруг у загальному випадку є несинусоїдною. Кожну з частин багатофазної системи, що характеризується однаковим струмом, називають фазою, **тобто фаза - це ділянка кола, що відноситься до відповідної обмотки генератора або трансформатора, лінії і навантаження.**

Таким чином, поняття «фаза» має в електротехніці два різні значення:

- фаза як аргумент величини, що синусоїдально змінюється;
- фаза як складова частина багатофазної електричної системи.

Розробка багатофазних систем була обумовлена історично. Дослідження в даній області були викликані вимогами виробництва, що розвивається, а успіхам в розвитку багатофазних систем сприяли відкриття у фізиці електричних і магнітних явищ. Найважливішою передумовою розробки багатофазних електричних систем з'явилося відкриття явища магнітного поля, що обертається. Перші електричні двигуни були двофазними, але вони мали невисокі робочі характеристики. Найраціональнішою і перспективною виявилася трифазна система, основні переваги якої будуть розглянуті далі. Великий внесок в розробку трифазних систем вніс видатний російський вчений М.О.Доліво-Добровольській, що

створив трифазні асинхронні двигуни, трансформатори та запропонував трьох і чотирьохпровідні кола, у зв'язку з чим він по праву вважається основоположником трифазних систем.

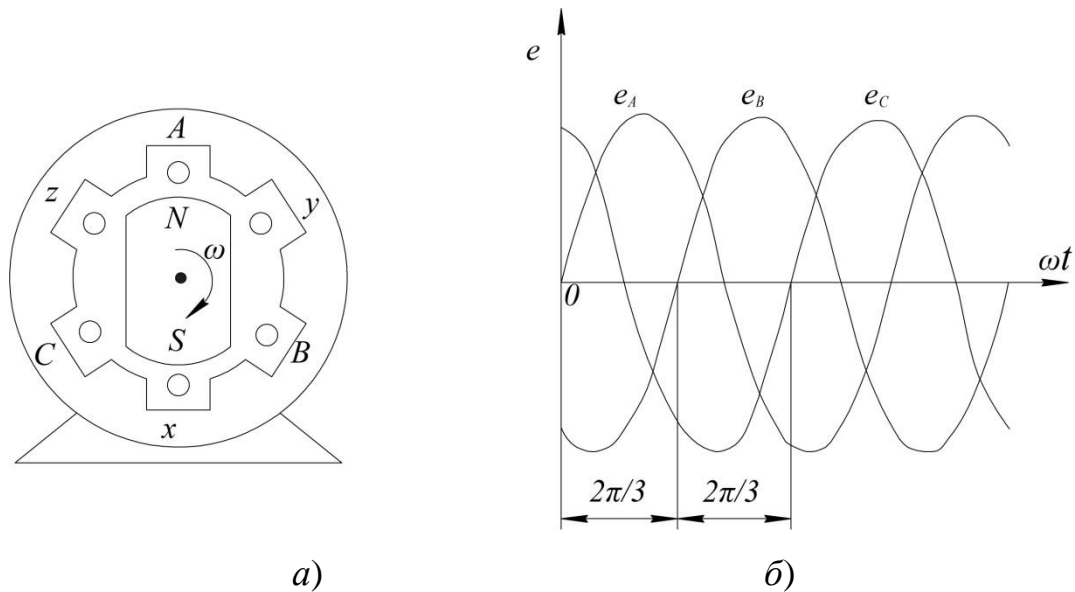


Рис. 1

Джерелом трифазної напруги є трифазний генератор, на статорі якого (рис. 1. а) розміщена трифазна обмотка. Фази цієї обмотки розташовуються так, що їх магнітні осі були зсунуті в просторі один щодо одного на $2\pi/3$ рад.(120 град.). На рис. 1. а кожна фаза статора умовно показана у вигляді одного витка. Початки обмоток фаз генератора прийнято позначати заголовними буквами A, B, C , а кінці відповідно прописним x, y, z . При обертанні ротора в нерухомих фазних обмотках статора в результаті перетину їх витків магнітним полем ротора, що обертається (на рис. 1. а ротор умовно зображено у вигляді постійного магніту), індуються ЕРС. При обертанні ротора з рівномірною швидкістю в обмотках фаз статора індуються синусоїдальні ЕРС однакової частоти й амплітуди, але зсунуті одна від одної по фазі на $2\pi/3$ рад. (рис.3.1. б).

Трифазні системи в даний час набули найбільше поширення. На трифазному струмі працюють всі крупні електростанції і споживачі, що пов'язане з рядом переваг трифазних кіл перед однофазними, найважливішими з яких є:

- *економічність передачі електроенергії на великі відстані;*
- *найнадійнішим і економічним, задовольняючим вимогам промислового електроприводу є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором;*
- *можливість отримання за допомогою нерухомих обмоток обертового магнітного поля, на чому заснована робота синхронного й асинхронного двигунів, а також ряду інших електротехнічних пристроїв, що обертаються;*
- *врівноваженість симетричних трифазних систем.*

Для розгляду найважливішої властивості врівноваженості трифазної системи, яка буде доведена далі, введемо поняття симетрії багатофазної системи.

Система ЕРС (напруг, струмів і т.д.) називається симетричною, якщо вона складається з однакових по модулю векторів ЕРС (напруг, струмів і т.д.), зсунутих по фазі один щодо одного на однаковий кут $\alpha=2\pi/m$. Зокрема векторна діаграма для симетричної системи ЕРС, відповідній трифазній системі синусоїд на рис.1.а представлена на рис.2.а. З несиметричних систем найбільший практичний інтерес представляє двофазна система з 90-градусним зсувом фаз (рис.2. б).

Всі симетричні трьох і m -фазні ($m>3$) системи, а також двофазна система є урівноваженими. Це означає, що хоча в окремих фазах миттєва потужність пульсує, змінюючи за час одного періоду не тільки величину, але в загальному випадку і знак, сумарна миттєва потужність всіх фаз залишається величиною постійної протягом всього періоду синусоїдальної ЕРС.

Врівноваженість має найважливіше практичне значення. Якби сумарна миттєва потужність пульсувала, то на валу між турбіною і генератором діяв би пульсуючий момент. Таке змінне механічне навантаження шкідливо відображалось б на енергогенеруючій установці, скорочуючи термін її служби. Ці ж міркування відносяться і до багатофазних електродвигунів.

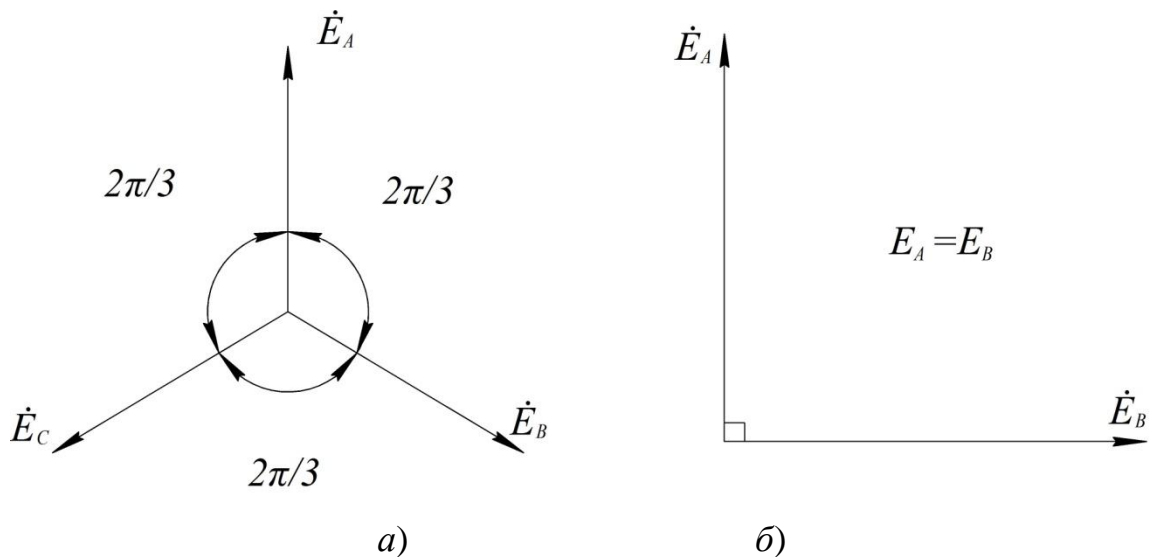


Рис. 2. Векторні діаграми трьох- та двофазних систем ЕРС.

Якщо симетрія порушується (двофазна система Tesla через свою специфіку не враховується), то порушується і врівноваженість. Тому в енергетиці строго стежать за тим, щоб навантаження генератора залишалося симетричним.

[Повернутися до змісту.](#)

1.2. Миттєві та комплексні значення ЕРС окремих фаз трифазного кола

Миттєві значення ЕРС окремих фаз A, B, C мають наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_{MA} * \sin(\omega t - 0^\circ) \\ e_B &= E_{MB} * \sin(\omega t - 120^\circ) \\ e_C &= E_{MC} * \sin(\omega t - 240^\circ) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

де $E_{MA} = E_{MB} = E_{MC} = E_M$ - максимальні (амплітудні) значення ЕРС.

Тоді комплекси діючих значень ЕРС в показниковій формі будуть дорівнювати:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_A &= E^* e^{j0} = E \\ \dot{E}_B &= E^* e^{-j120^\circ} \\ \dot{E}_C &= E^* e^{-j240^\circ} \end{aligned} \right\}, \quad (1.2)$$

де $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ - модуль ЕРС.

Система трьох ЕРС однокових за величиною і зміщених за фазою на 120° , називається симетричною трифазною системою ЕРС. Сума миттєвих значень фазних ЕРС дорівнює в кожний момент часу нулю.

Якщо з'єднати кожен фазу генератора з кожною окремою фазою споживача, то буде створено незв'язану трифазну систему з трьома самостійними колами та шістьма провідниками. Але така система є не економічною і тому не знайшла практичного застосування. Більш економічною системою є зв'язана трифазна система, де фази генератора та споживача з'єднані між собою за схемою зірки або трикутника.

[Повернутися до змісту.](#)

2. Симетричні трифазні системи та схеми їх з'єднання.

2.1. З'єднання фаз генератора та споживача за схемою «зірка».

2.1.1. При з'єднанні фаз генератора «зіркою» кінці фаз (x, y, z) об'єднуються в вузол, що позначається буквою N та називається нейтраллю, а його потенціал приймається рівним нулю ($\dot{\phi}_N = 0$). Потенціали початків фаз, як було показано вище, дорівнюють діючим значенням ЕРС фаз:

$\dot{\phi}_A = \dot{E}_A; \dot{\phi}_B = \dot{E}_B; \dot{\phi}_C = \dot{E}_C$. Різниця потенціалів між початками та кінцями фаз називається фазною напругою та буде дорівнювати:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AN} &= \dot{\varphi}_A - \dot{\varphi}_N = \dot{E}_A - 0 = \dot{E}_A \\ \dot{U}_{BN} &= \dot{\varphi}_B - \dot{\varphi}_N = \dot{E}_B - 0 = \dot{E}_B \\ \dot{U}_{CN} &= \dot{\varphi}_C - \dot{\varphi}_N = \dot{E}_C - 0 = \dot{E}_C \end{aligned} \right\} \quad (2.1)$$

Різниця потенціалів між початками різнойменних фаз називається лінійною напругою, що дорівнює:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{\varphi}_A - \dot{\varphi}_B = \dot{E}_A - \dot{E}_B \\ \dot{U}_{BC} &= \dot{\varphi}_B - \dot{\varphi}_C = \dot{E}_B - \dot{E}_C \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{\varphi}_C - \dot{\varphi}_A = \dot{E}_C - \dot{E}_A \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

В показниковій формі комплекси фазних та лінійних напруг мають наступні вигляди:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= U_{\dot{\varphi}} * e^{j0} = U_{\dot{\varphi}} \\ \dot{U}_B &= U_{\dot{\varphi}} * e^{-j120^\circ} \\ \dot{U}_C &= U_{\dot{\varphi}} * e^{-j240^\circ} \\ \dot{U}_{AB} &= U_{\dot{E}} * e^{j30^\circ} \\ \dot{U}_{BC} &= U_{\dot{E}} * e^{-j90^\circ} \\ \dot{U}_{CA} &= U_{\dot{E}} * e^{-j210^\circ} \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

де $U_{\dot{\varphi}}$ - модуль фазної напруги;

$U_{\dot{E}}$ - модуль лінійної напруги.

Розглянемо ці схеми більш ретельно. Якщо, зв'язані трифазні системи (кола) з симетричною системою ЕРС мають однакові навантаження фаз за характером і значенням (симетричне навантаження), то такі системи називаються симетричними трифазними системами або симетричними трифазними колами.

[Повернутися до змісту.](#)

2.1.2. При з'єднанні фаз споживача «зіркою» кінці його фаз (x, y, z) також об'єднуються в один вузол, що позначається малою буквою « n » та називається нейтраллю. Для створення зв'язаної чотирипровідної трифазної системи початки фаз генератора з'єднуються з початками фаз споживача (навантаження) трьома провідниками, що називаються лінійними, а четвертим провідником з'єднуються нейтралі генератора і споживача (цей провідник називається нейтральним або нульовим). Схема зв'язаної трифазної системи приведена нижче (рис.3).

Згідно першого закону Кірхгофа:

$$\hat{I}_N = \hat{I}_A + \hat{I}_B + \hat{I}_C, \text{ де } \hat{I}_A, \hat{I}_B, \hat{I}_C - \text{ лінійні струми, а } \hat{I}_N - \text{ струм нейтралі.}$$

При симетричному навантаженні $I_A = I_B = I_C \equiv I_N = 0$, тому нейтральний провід не потрібен. Необхідність нейтрального проводу виникає при несиметричному навантаженні, де він служить для вирівнювання несиметрії навантаження коли $I_N \neq 0$. Особливості несиметричного режиму будуть розглянуті в наступній лекції.

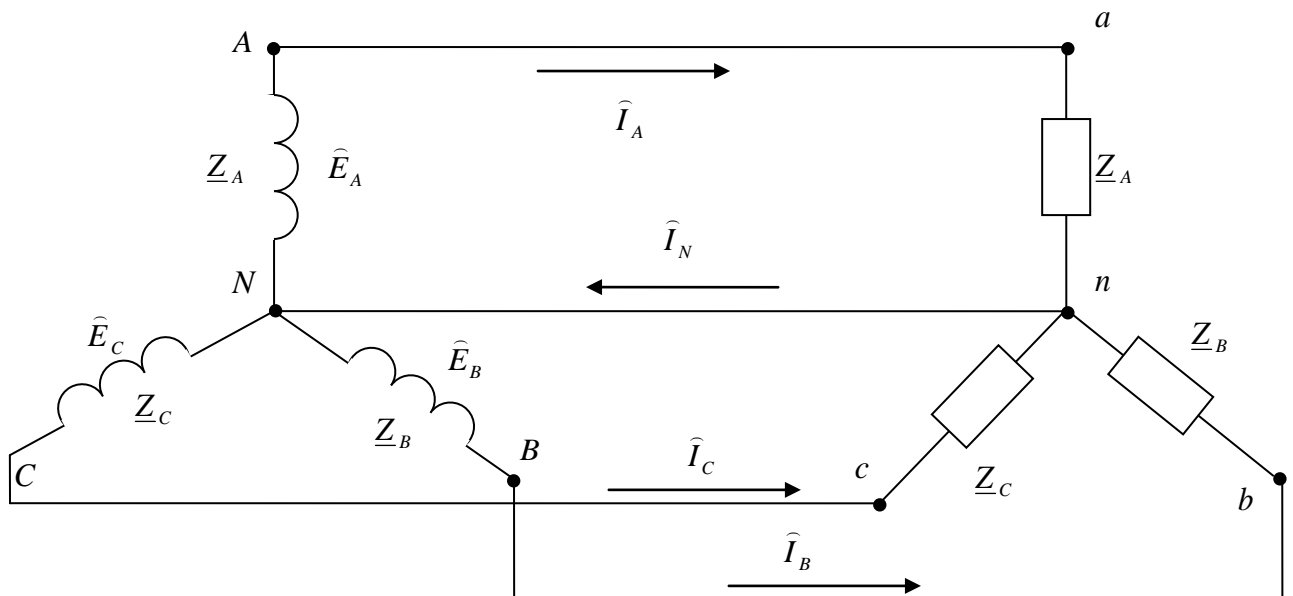


Рис.3. Схема заміщення трифазного кола при з'єднанні за схемою «зірка».

Як видно зі схеми при з'єднанні за схемою «зірки» лінійний струм дорівнює фазному струму, під яким розуміється струм, що протікає по фазним обмоткам генератора, тобто $I_{\dot{E}} = I_{\dot{O}}$, таким чином при з'єднанні трифазної системи за схемою «зірки» існують наступні співвідношення між фазними і лінійними величинами напруг і струмів:

$$U_{\text{Л}} = \sqrt{3}U_{\text{Ф}}, \text{ а } I_{\text{Л}} = I_{\text{Ф}} \quad (2.4)$$

2.1.3. Побудуємо векторні діаграми фазних та лінійних напруг на комплексній площині, вісі якої повернуті на 90^0 проти годинникової стрілки (рис.4 і 5).

Миттєві значення фазних та лінійних напруг геометрично дорівнюють:

$$\left. \begin{aligned} u_A &= U_{\text{ФМ}} * \sin wt \\ u_B &= U_{\text{ФМ}} * \sin(wt - 120^0) \\ u_C &= U_{\text{ФМ}} * \sin(wt - 240^0) \\ u_{AB} &= U_{\text{ЛМ}} * \sin(wt + 30^0) \\ u_{BC} &= U_{\text{ЛМ}} * \sin(wt - 90^0) \\ u_{CA} &= U_{\text{ЛМ}} * \sin(wt - 210^0) \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

де $U_{\text{ФМ}} = \sqrt{2}U_{\text{Ф}}$ - амплітудне значення фазної напруги;

$U_{\text{ЛМ}} = \sqrt{2}U_{\text{Л}}$ - амплітудне значення лінійної напруги.

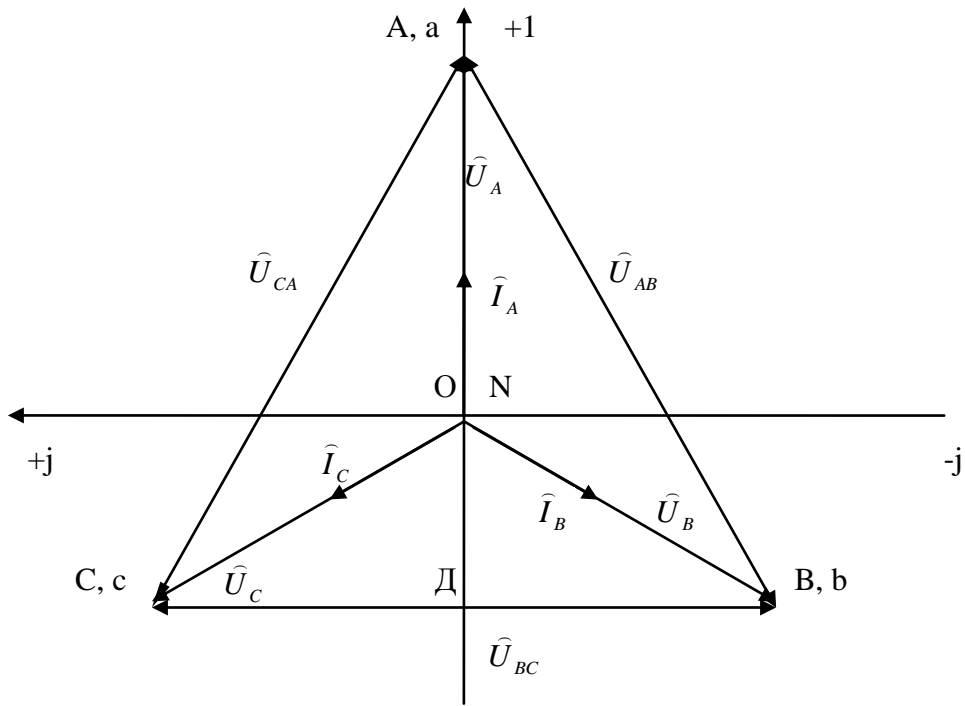


Рис.4. Векторна діаграма фазних напруг.

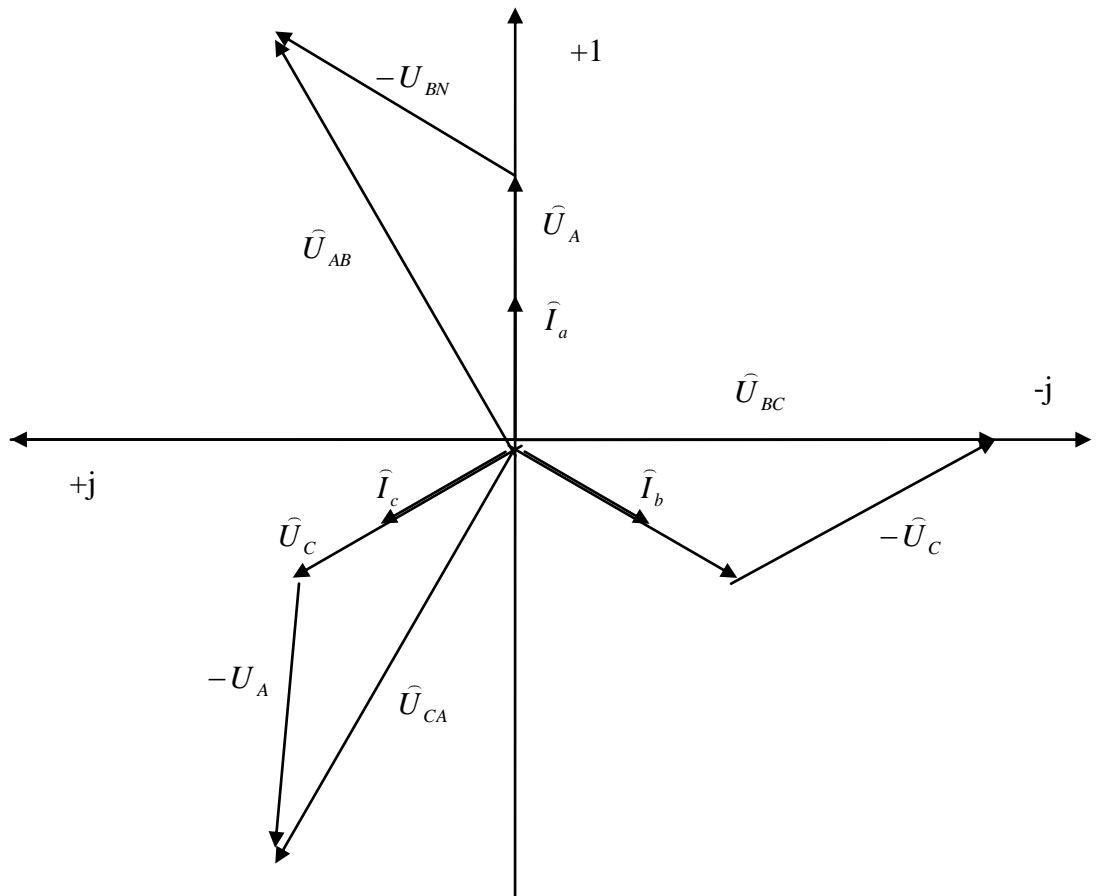


Рис. 5 Векторна діаграма лінійних напруг.

З трикутника ОВД визначаємо : $\frac{1}{2}U_L = U_\phi * \cos 30^\circ = U_\phi \frac{\sqrt{3}}{2}$, тоді

$$U_L = \sqrt{3} * U_\phi.$$