

# Електроенергетика

## Вступний курс

Практичне заняття 3-4:  
Комутаційні апарати. Поняття про режими нейтралі  
трифазної низьковольтної мережі

Костюк Василь Осипович,  
канд. техн. наук,

Інститут загальної енергетики НАН України

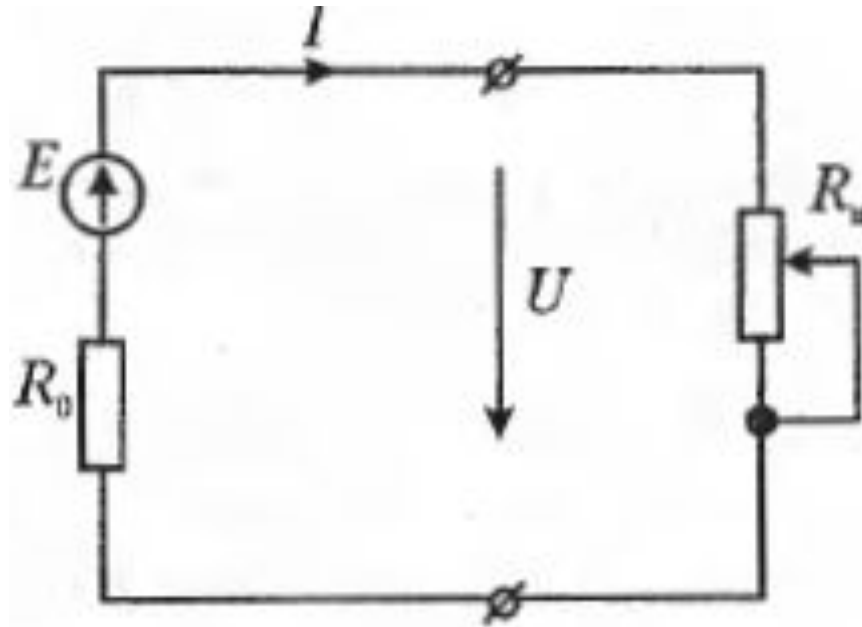
# План

1. Джерело напруги, джерело струму: заступні схеми та ВАХ
  - ВАХ ідеальних джерел електроенергії
  - ВАХ реальних пристроїв живлення
  - ВАХ навантаження: лінійна, нелінійна характеристика
  - Графічний спосіб визначення робочої точки, спеціальні випадки
2. Конструкція і властивості фото-електричного модуля
3. Умова передачі максимальної потужності до споживача: МРРТ
4. Комутаційні та захисні апарати
  1. високовольтних ЕМ: ВН, СН
  2. розподільних мереж НН
6. Про режими нейтралі розподільних мереж

# План

1. Джерело напруги, джерело струму: заступні схеми та ВАХ
  - ВАХ ідеальних джерел електроенергії
  - ВАХ реальних пристроїв живлення
  - ВАХ навантаження: лінійна, нелінійна характеристика
  - Графічний спосіб визначення робочої точки, спеціальні випадки
2. Конструкція і властивості фото-електричного модуля
3. Умова передачі максимальної потужності до споживача: MPPT
4. Системи регулювання потужності вітроколiс
5. Механічні характеристики вітроагрегатів: узагальнена характеристика потужності вітроколеса, розподіл Вейбулла
6. Основні схеми ВЕГ з регулюванням швидкості колеса

# Джерело енергії



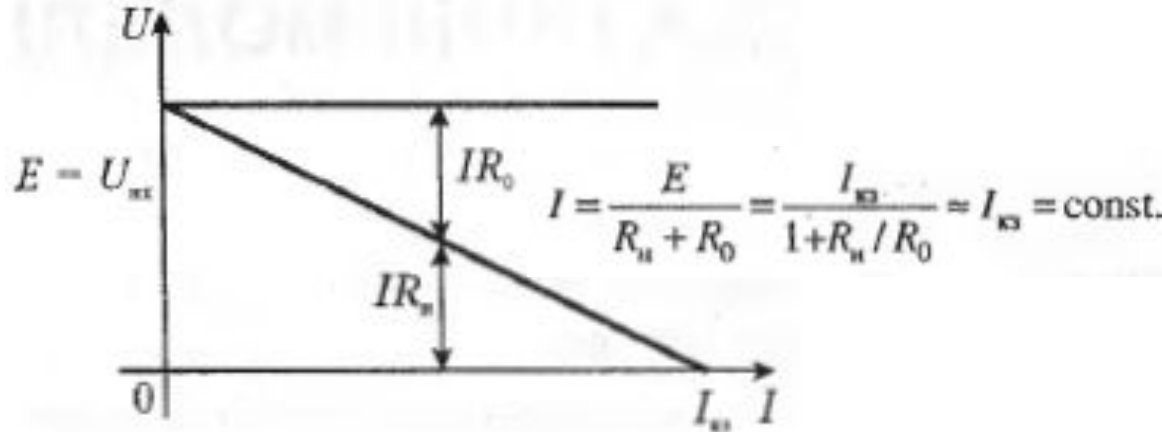
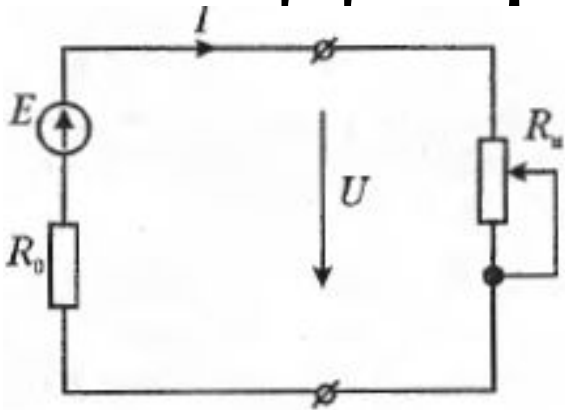
1) неробочий хід -?:

$$R_H = \infty, I = 0, U_{HX} = E$$

2) коротке замикання -?:

$$R_H = 0, I = I_{KЗ}, U = 0$$

# Джерело напруги (1)

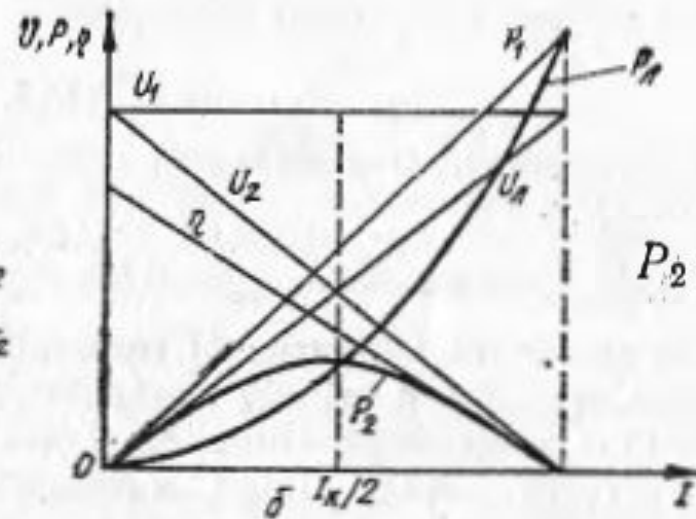
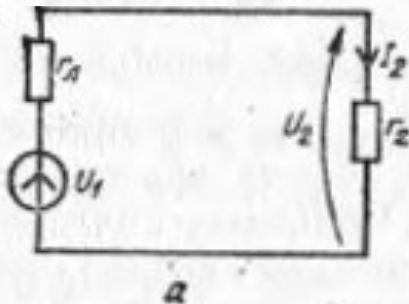


Режим, близький до неробочого ходу:  $R_n \gg R_0$

$$dP/dI = U_1 - 2r_n I = 0,$$

$$I_{P_2 \text{ max}} = U_1 / (2r_n) = I_{sc} / 2; \quad r_2 = r_n,$$

Потужність,  
передавана  
лінією DC



$$P_2 \text{ max} = U_1^2 / (4r_n).$$

# Джерело напруги (2)

- \* ККД лінії DC: (?)

$$\eta_{P_2 \max} = P_2 \max / P_1 P_2 \max = (U_1^2 / (4r_{\text{л}})) / (U_1^2 / (2r_{\text{л}})) = 0,5.$$

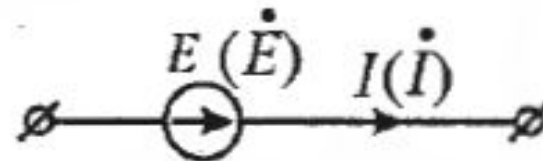
- \* WHAT should  $\Delta P$  ?

$$\Delta P_{\text{л}} = r_{\text{л}} I^2 = 2\rho l / s (P_2 / U_2)^2,$$

- \* де  $\rho$  — питомий резистанс проводів лінії;  $l$  — її довжина;  $s$  — поперечний переріз проводів.

# Джерело напруги (3)

Заступна схема еквівалентного  
джерела синусоїдної ЕРС :



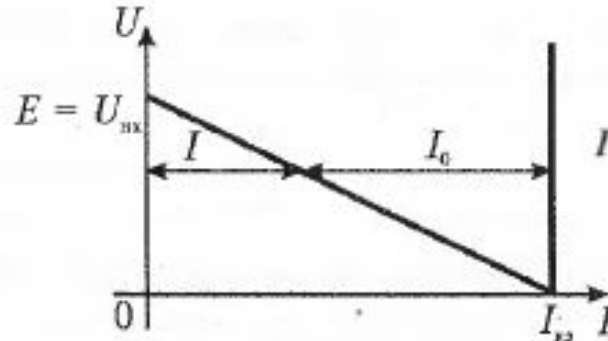
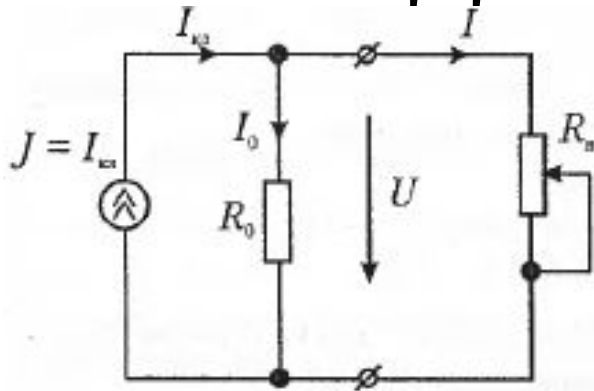
$$\underline{S} = \dot{E}\dot{I}^* = EI \cos \varphi + jEI \sin \varphi = P + jQ, \quad \varphi = \psi_e - \psi_i.$$

Коефіцієнт потужності:  $\frac{P}{S} = \lambda$

для кола із синусоїдним струмом:  $\lambda = \cos \varphi$

Постійний струм :  $P = E \cdot I$

# Джерело струму (1)



$$I = \frac{E}{R_H + R_0} = \frac{I_{sc}}{1 + R_H/R_0} = I_{sc} = \text{const.}$$

$$\frac{E}{R_0} = \frac{U}{R_0} + I; \quad J = I_0 + I, \quad I = J \frac{R_0}{R_0 + R_H} = J \frac{G_H}{G_0 + G_H}.$$

Режим близький до короткого замикання:  $R_H \ll R_0$

Теорема потужності: умова передачі тах

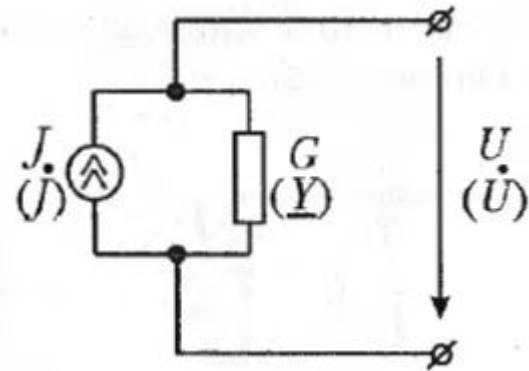
$$P_H = UI = I^2 R_H = \left( \frac{E}{R_H + R_0} \right)^2 R_H = \frac{E^2}{R_0^2 / R_H + 2R_0 + R_H} \quad \frac{d}{dR_H} \left( \frac{R_0^2}{R_H} + 2R_0 + R_H \right) = 0.$$

$$R_H = R_0$$



# Джерело струму (2)

Заступна схема еквівалентного джерела синусоїдного струму  $J$  :




$$\underline{S} = \dot{U}\dot{J} = UJ \cos \varphi + jUJ \sin \varphi = P + jQ, \quad \varphi = \psi_u - \psi_i.$$

$U$  – напруга між вузлами, до яких приєднано джерело.

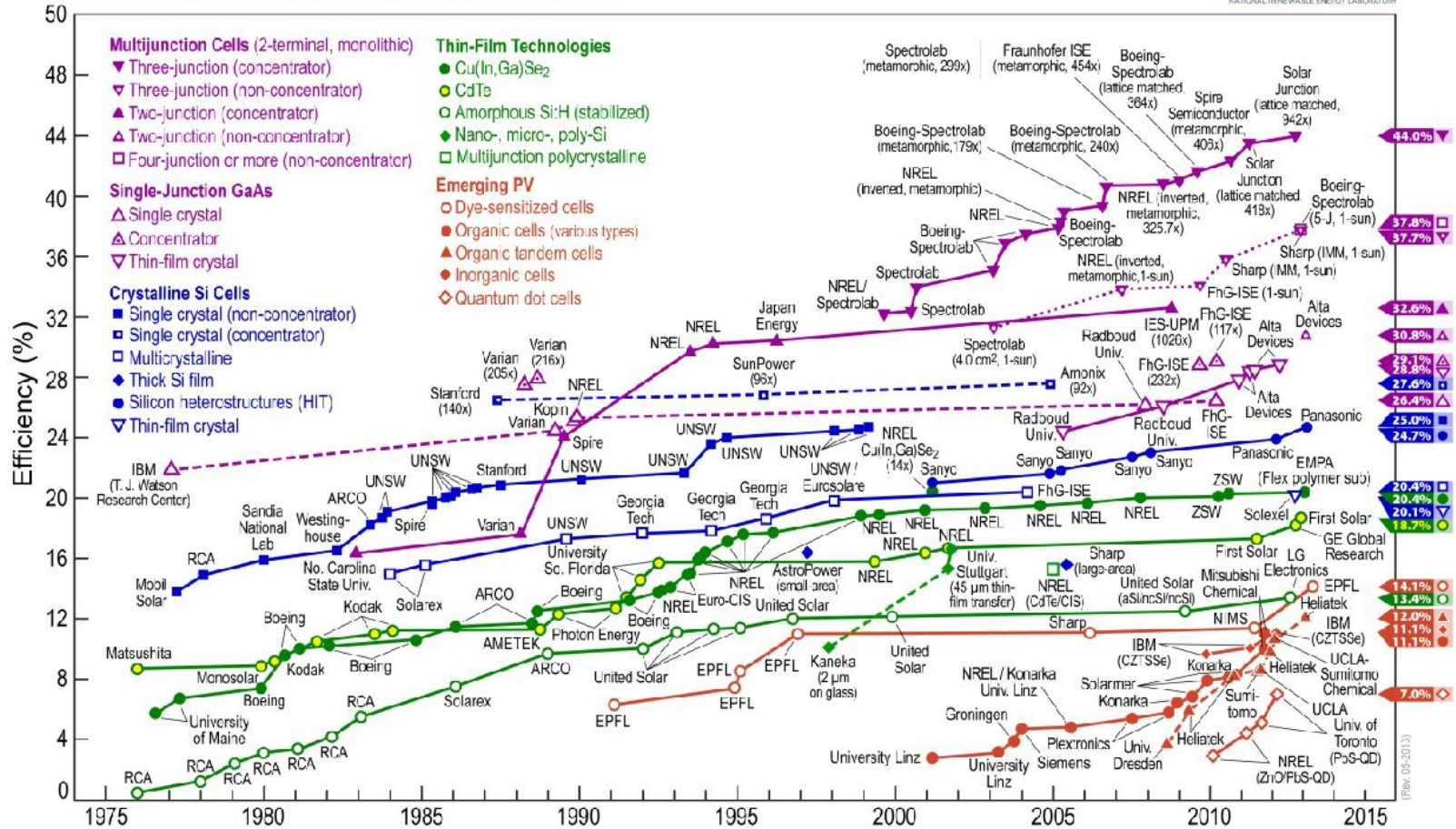
Джерело постійного струму :  $P = U \cdot J$

# Джерело напруги і струму в єдиному колі. Робоча точка

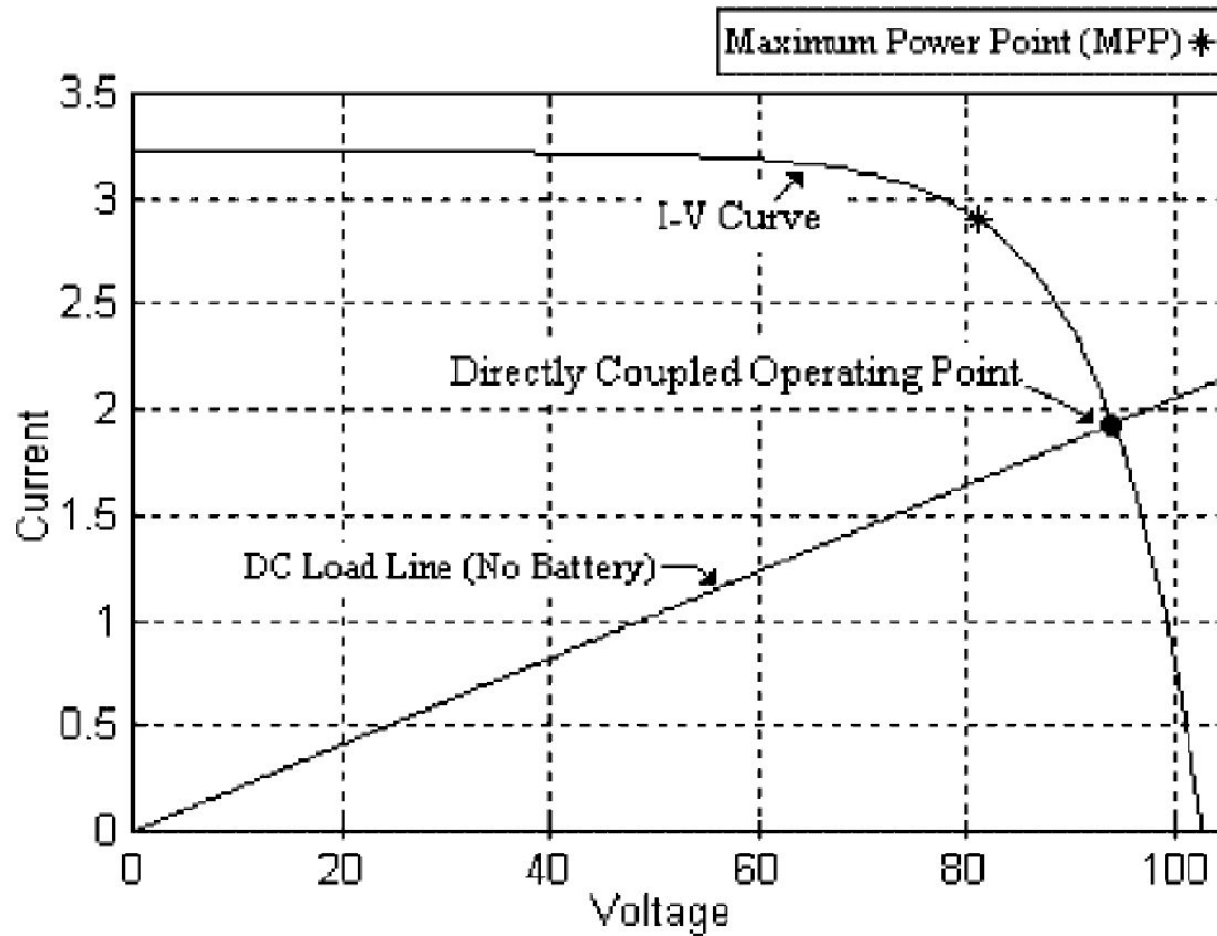
- \* Еквівалентний двополюсник....
- \* Теорема Тевенена (Thevenin's theorem)
- \* Теорема Нортонна (Norton's theorem)
- \* 6 форм запису рівнянь чотирьохполюсника

# Джерело напруги і струму в єдиному колі. Робоча точка

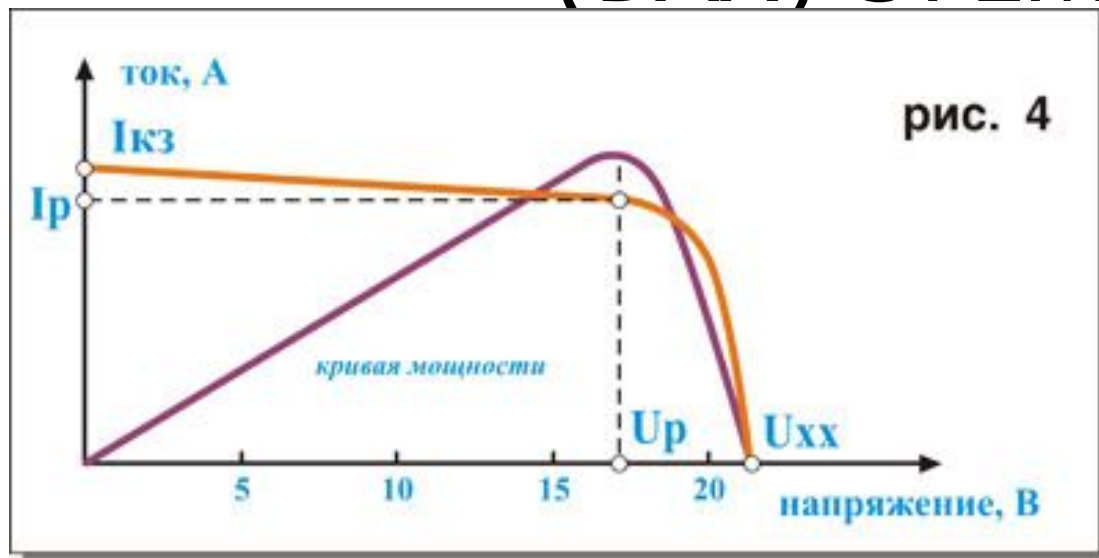
# Best Research-Cell Efficiencies



# Панель СФЕМ (стіл)



# Вольт-амперна характеристика (ВАХ) СФЕМ (1)



При прямом соединении солнечного модуля к аккумуляторной батарее, модуль работает при напряжении, равном напряжению аккумуляторной батареи в данный момент.

По мере заряда АБ ее напряжение растет, поэтому модуль может работать в диапазоне напряжения от 10 до 14,5В (здесь и далее используются напряжения для модуля номинальным напряжением 12В. Для модулей с номинальным напряжением 24В значения напряжения нужно умножить на 2). Соответственно, его рабочая точка может быть довольно далеко от оптимальной.

## Почему же производители выбрали напряжение модуля в максимальной точке равным 17В?

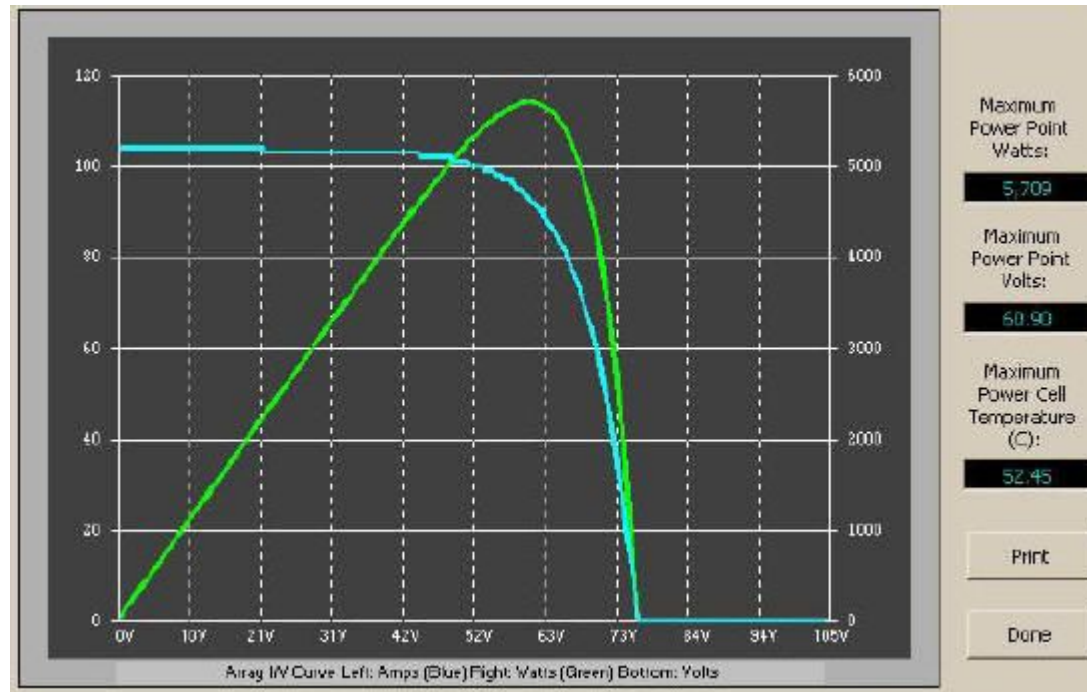
Example. OK, so now we have this neat 130 watt solar panel.

**Catch #1** is that it is rated at 130 watts at a particular voltage and current. The Kyocera KC-130 is rated at 7.39 amps at 17.6 volts. (7.39 amps times 17.6 volts = 130 watts).

**Catch #2** So what happens when you hook up this 130 watt panel to your battery through a regular charge controller? Your panel puts out 7.4 amps. Your battery is setting at 12 volts under charge: 7.4 amps times 12 volts = 88.8 watts. You lost over 41 watts - but you paid for 130. That 41 watts is not going anywhere, it just is not being produced because there is a poor match between the panel and the battery. With a very low battery, say 10.5 volts, it's even worse - you could be losing as much as 35% (11 volts x 7.4 amps = 81.4 watts. You lost about 48 watts).

**Catch #2a** is that the panel is rated at 130 watts at full sunlight at a particular temperature (STC - or standard test conditions). If temperature of the solar panel is high, you don't get 17.4 volts. At the temperatures seen in many hot climate areas, you might get under 16 volts. If you started with a 15 volt panel (like some of the so-called "self regulating" panels), you are in trouble, as you won't have enough voltage to put a charge into the battery.

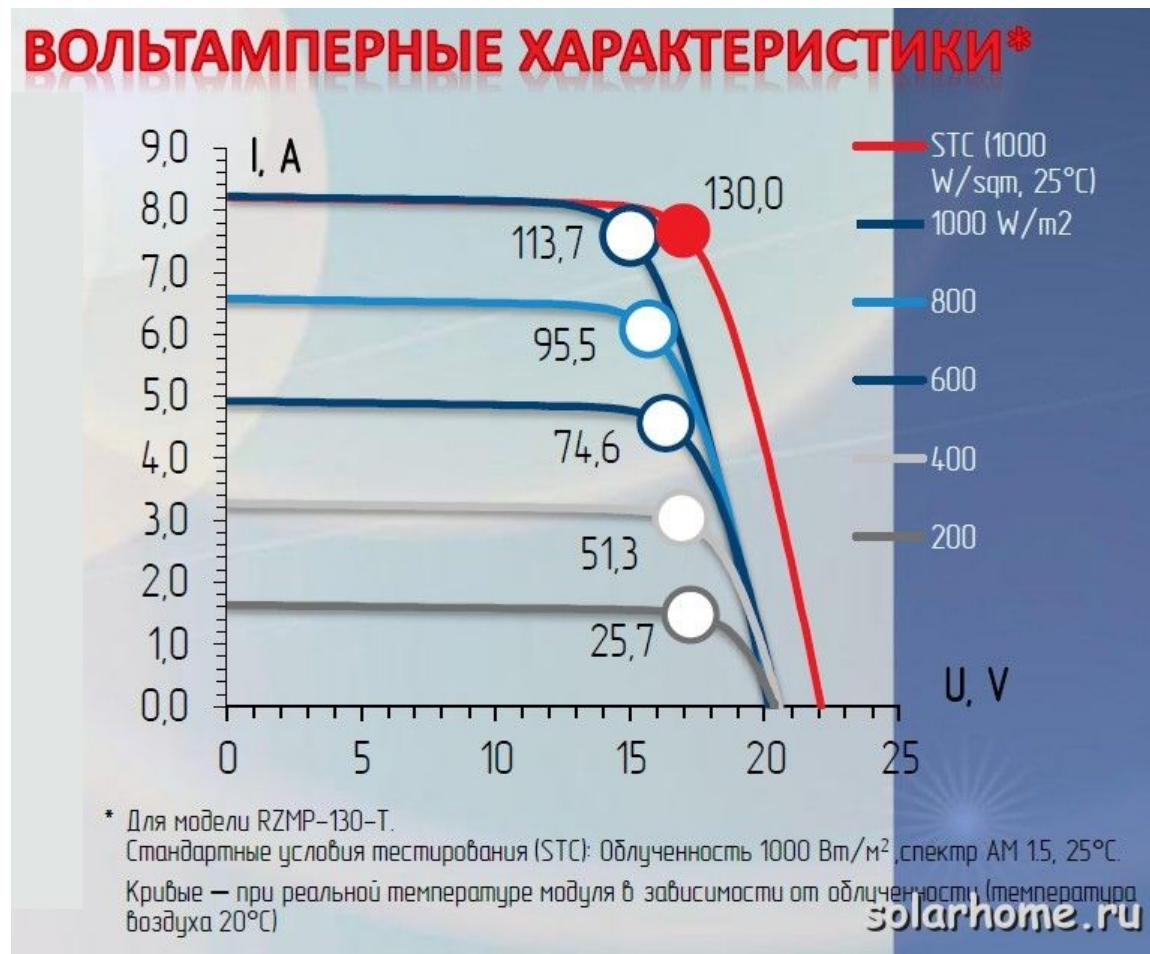
# Вольт-амперна характеристика СФЕМ (2)



## How Maximum Power Point Tracking works

- \* Here is where the optimization, or maximum power point tracking comes in. Assume your battery is low, at 12 volts. A MPPT takes that 17.6 volts at 7.4 amps and converts it down, so that what the battery gets is now 10.8 amps at 12 volts. Now you still have almost 130 watts, and everyone is happy.
- \* Ideally, for 100% power conversion you would get around 11.3 amps at 11.5 volts, but you have to feed the battery a higher voltage to force the amps in. And this is a simplified explanation - in actual fact the output of the MPPT charge controller might vary continually to adjust for getting the maximum amps into the battery.

# Залежність від рівня інсоляції (освітленості) і температури





# MPPT – how it works?

The **Power point tracker is a high frequency DC to DC converter**. They take the DC input from the solar panels, change it to high frequency AC, and convert it back down to a different DC voltage and current to exactly match the panels to the batteries. MPPT's operate at very high audio frequencies, usually in the 20-80 kHz range.

The advantage of high frequency circuits is that they can be designed with very high efficiency transformers and small components. The design of high frequency circuits can be very tricky because the problems with portions of the circuit "broadcasting" just like a radio transmitter and causing radio and TV interference. Noise isolation and suppression becomes very important.

All recent models of digital MPPT controllers available are microprocessor controlled. They know when to adjust the output that it is being sent to the battery, and they actually shut down for a few microseconds and "look" at the solar panel and battery and make any needed adjustments.

**NB!** *Переклад – див. у коментарях під слайдом*

# МРРТ: визначення екстремуму функції $P(V)=V \cdot I$

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0$$

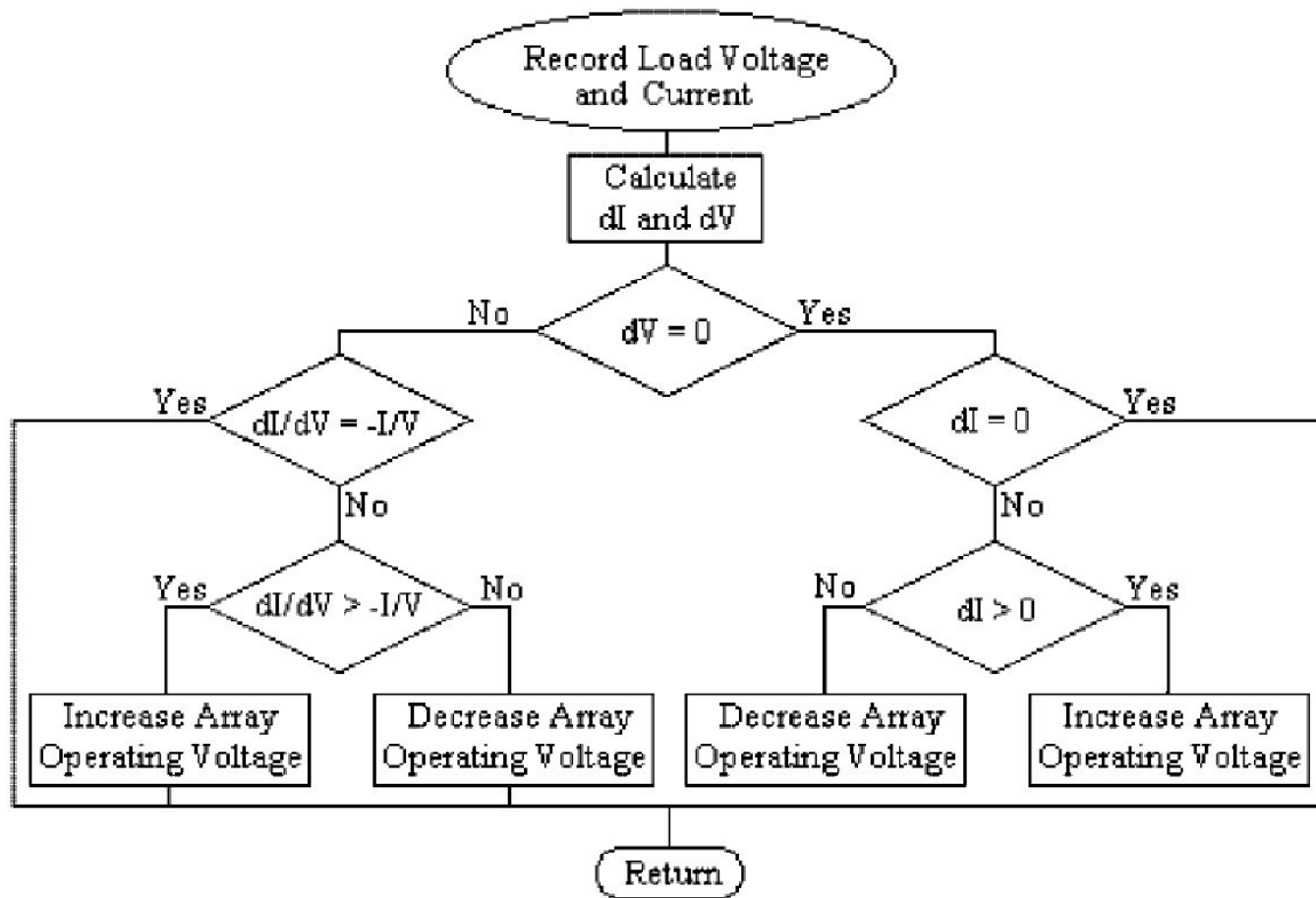
$$-\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV}$$

\*

\* Умови знаходження робочої точки на кривій потужності можна використати для побудови алгоритму функціонування пристрою МРРТ

# IC

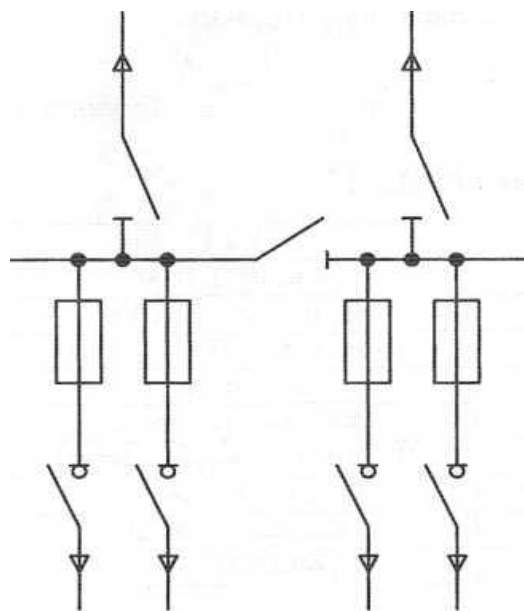
## Incremental Conductance



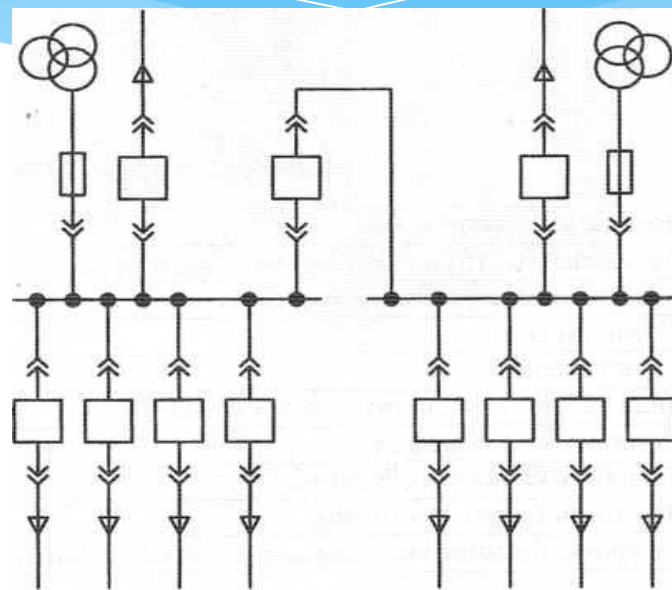
# Комутаційні апарати: розподільні пункти (РП) середньої напруги (СН)

- \* Розподільні пункти (РП), як і вузли ЕПС, можуть бути приймальними пунктами, якщо напруга ліній живлення та розподільної мережі збігаються, а також розподільними підстанціями - без функції трансформації напруги. Спорудження таких пунктів є доцільним за необхідності приймання порівняно значної потужності, що передається на об'єкт лініями 6 або 10 кВ (також називають ЦРП)
- \* На відміну від трансформаторних підстанцій, які доцільно розміщувати в центрах навантажень, РП розташовують на межі ділянки, що обслуговується, з боку джерел живлення. Так запобігають зустрічним потокам потужності, наявність яких значно погіршує техніко-економічні показники мережі.
- \* На промислових підприємствах РП використовують для живлення груп потужних електроприймачів - синхронних та асинхронних двигунів помпових, компресорних станцій, димотягів та інших зосереджених груп споживачів середньої напруги

# КРУ, КСО



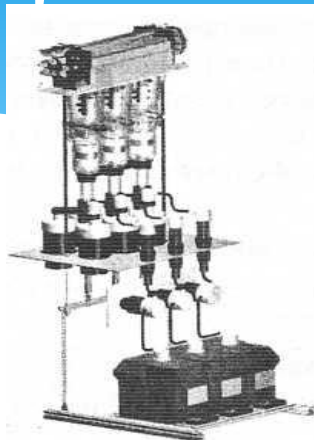
а)



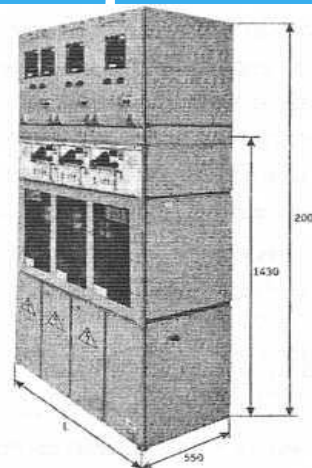
б)

Рис. 5.9. Схеми розподільних пунктів з комірками:  
а - типу КСО з вимикачами навантаження та запобіжниками;  
б - з висувними вимикачами

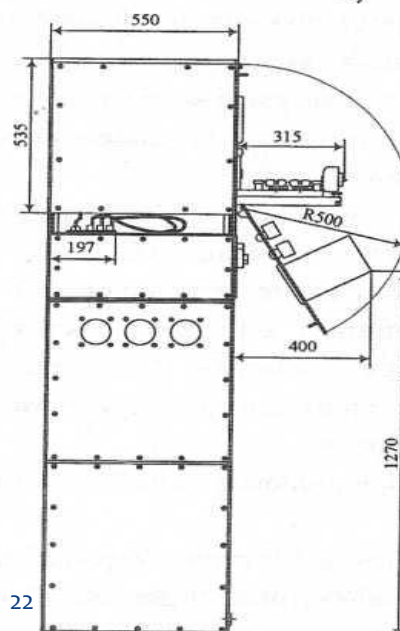
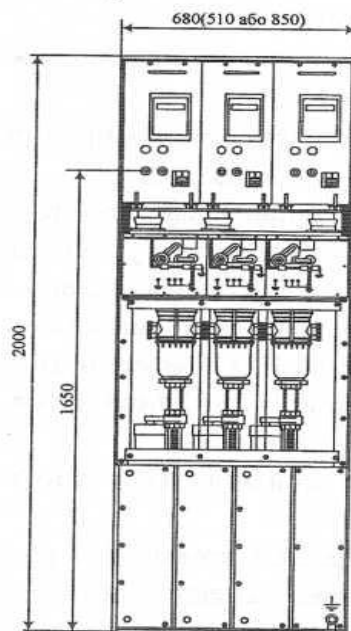
# Таврида Електрик Україна: ТЕМ



а)



б)



# Шнейдер Електрик: SM6 -

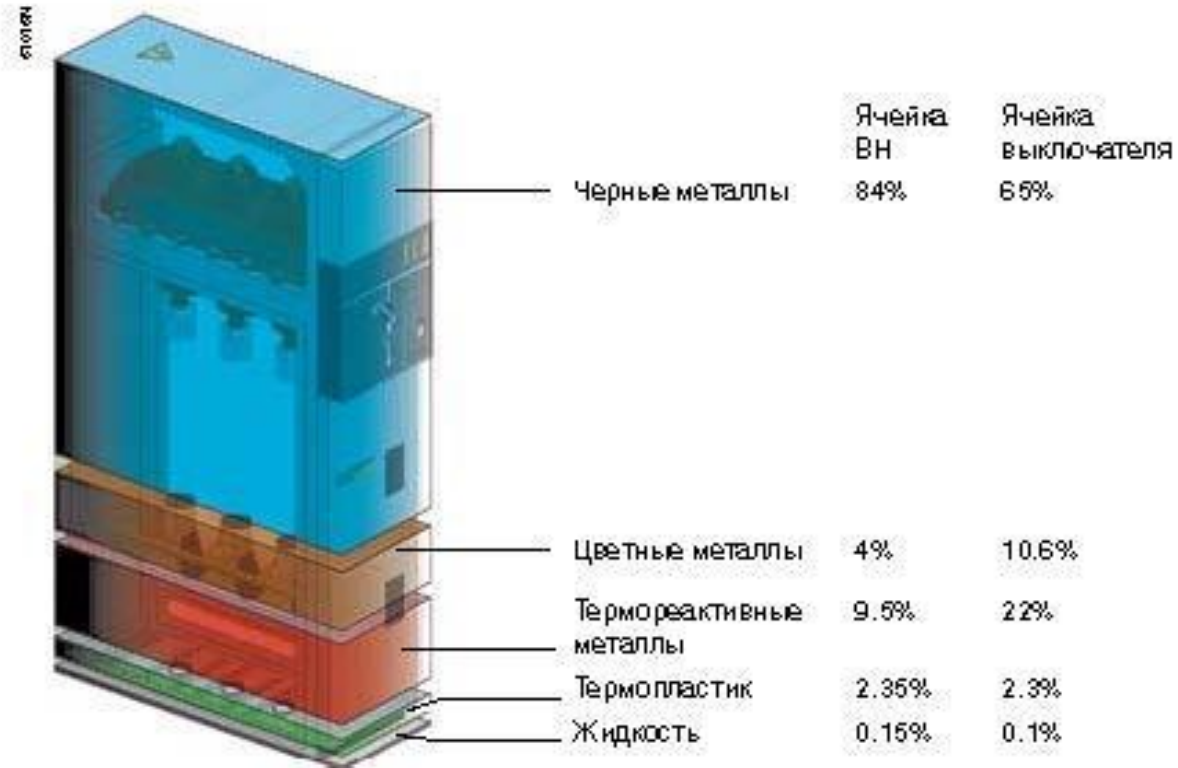
## SM6

Модульные ячейки 10(6) кВ

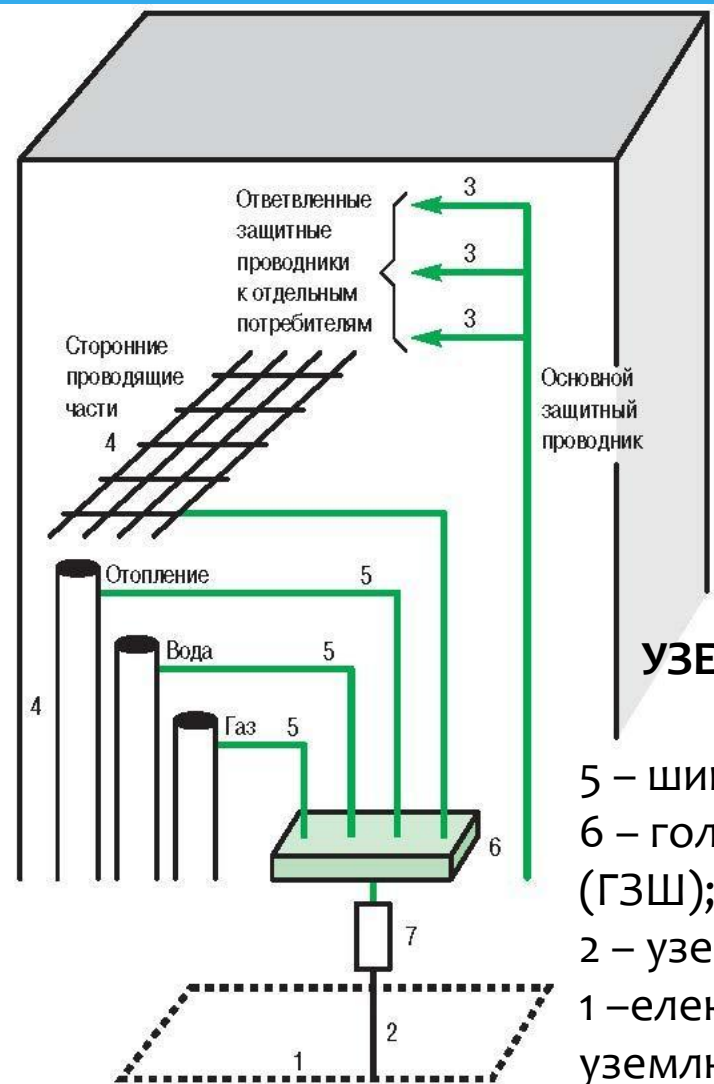
Каталог  
2009



Schneider  
Electric



# Захисне уземлення



**УЗЕМЛЕННЯ = «ЗАЗЕМЛЕНИЕ»:**

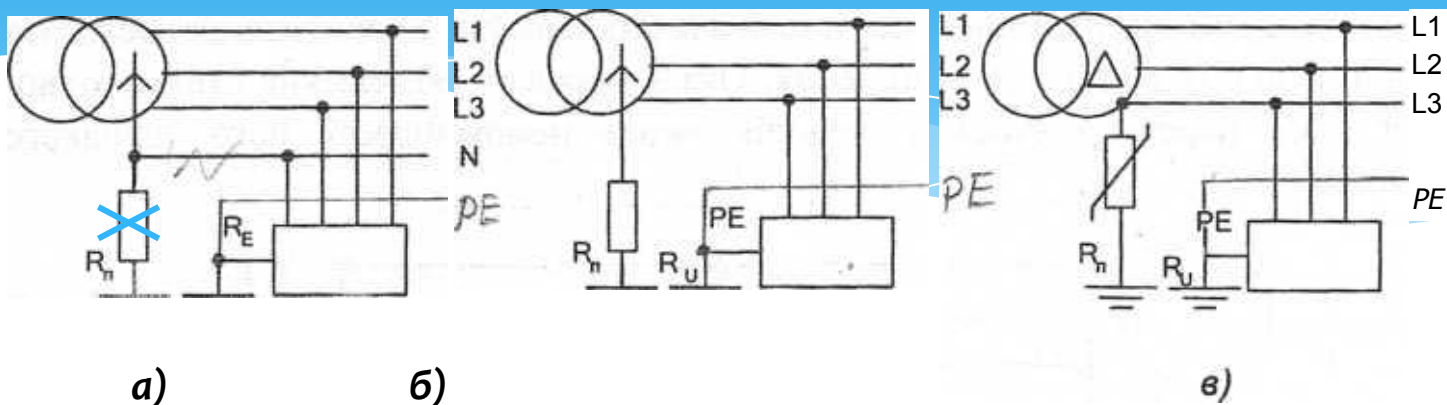
- 5 – шинка металізована
- 6 – головна уземлювальна шина (ГЗШ);
- 2 – уземлювальний провідник,
- 1 – електрод/пристрій уземлювальний, уземлювач



# Режими нейтралі (1)

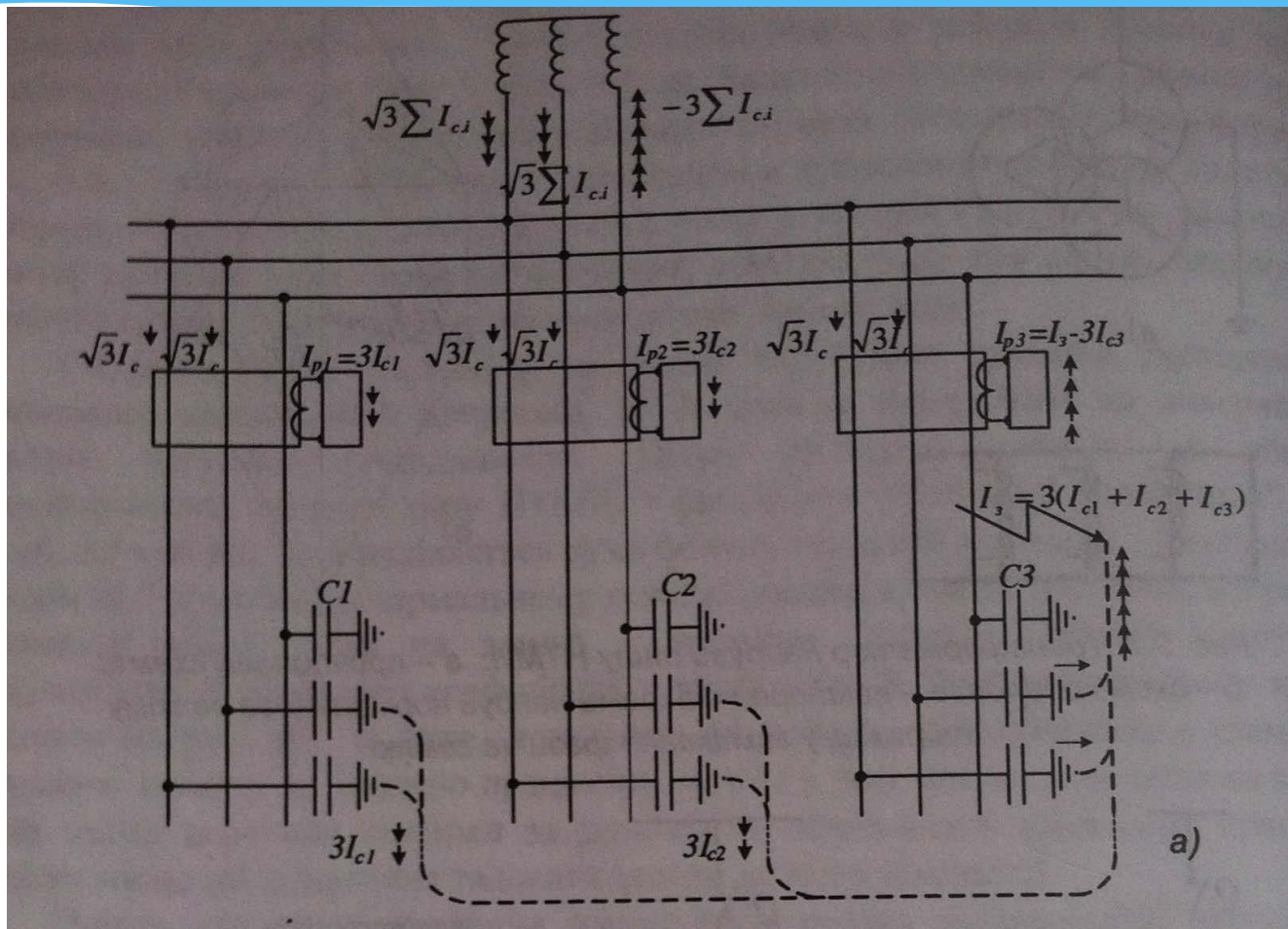
- \* **Міжнародною електротехнічною комісією (МЕК)** рекомендована класифікація мереж низької напруги залежно від уземлення нейтралі джерела живлення (вторинної обмотки силового трансформатора), способу уземлення корпусів обладнання та способу використання нейтрального проводу. Для позначення різних систем використовують літери латинського алфавіту.
- \* **Згідно з цією класифікацією розрізняють такі системи мереж низької напруги: *IT, TT, TN-S, TN-C* та похідну від двох останніх - *TN-C-S*.**
- \* Першою літерою позначають стан нейтралі обмотки трансформатора живлення. Літерою *I* (від французького “*isole*” - ізолюваний) позначають систему з ізолюваною нейтраллю чи з нейтраллю, приєднаною до пристрою уземлення через великий опір. У цій системі між нейтраллю (або однією з фаз за її відсутності) та пристроєм уземлення встановлюють апарат для захисту від переходу вищої напруги на обмотку нижчої напруги у разі пошкодження ізоляції між ними. Літерою *T* (від французького “*terre*” - земля) позначають систему з глухим (безпосереднім) приєднанням нейтралі обмотки трансформатора до пристрою уземлення підстанції

# Режими нейтралі: IT (2)

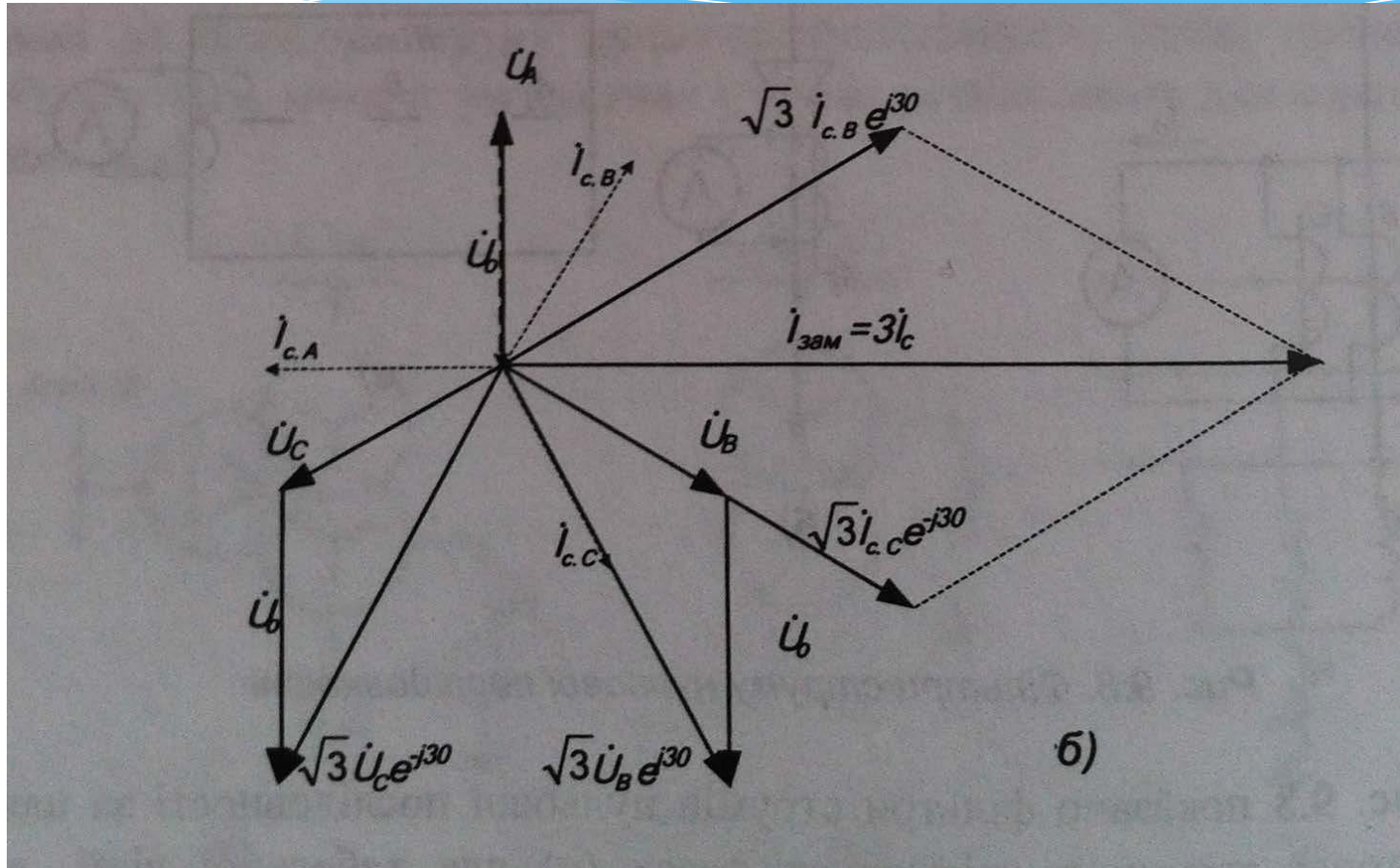


- \* Схеми мереж за системою IT: **а** - чотирипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у "зірку"; **б** - трипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у "зірку"; **в** - трипровідна мережа з живленням від обмотки, з'єднаної у "трикутник"
- \* Система IT є системою з ізолюваною нейтраллю та приєднанням корпусів обладнання до місцевих пристроїв заземлення. Зображено можливі схеми системи IT. Система IT характеризується дуже невеликим струмом замикання однієї з фаз на землю, значення якого дорівнює *потрійному значенню струму спливу фази нормального режиму* і визначається поперечними параметрами мережі.

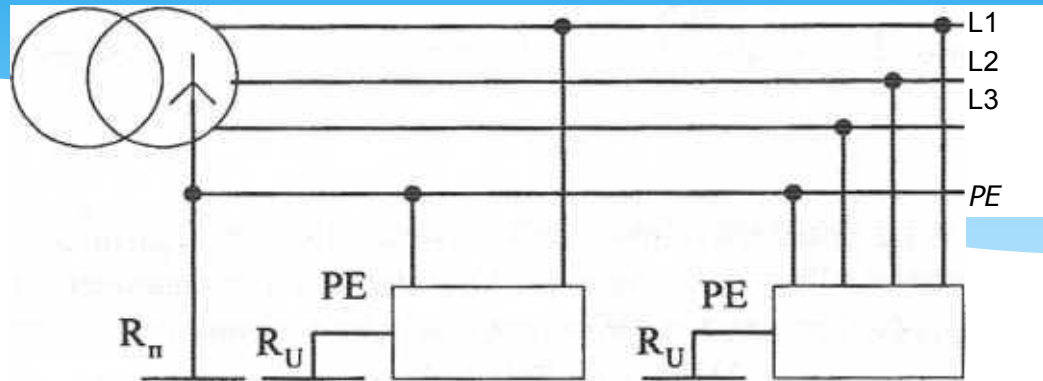
# Розподіл струмів у фазах мережі IT: к.з. у фазі 3



# Веторна діаграма стрмів і напруг у точці замикання фази С

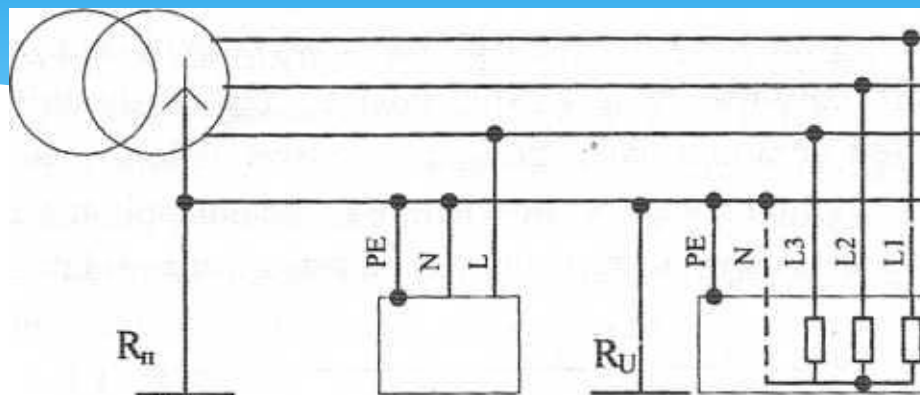


# Режими нейтралі: ТТ (З)



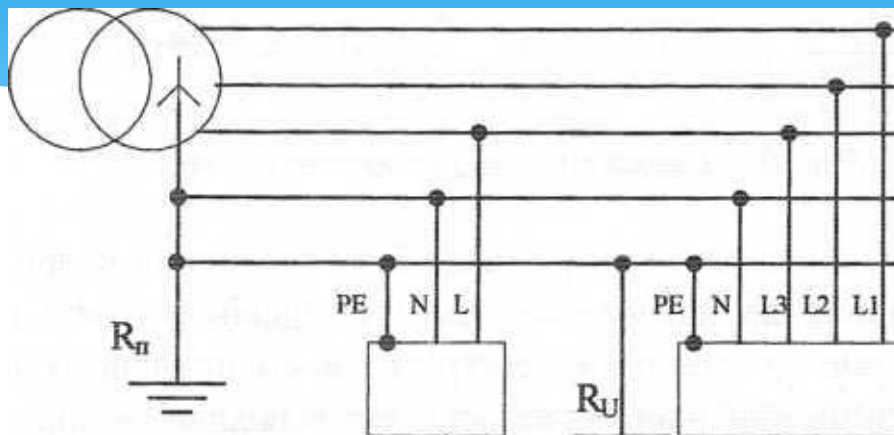
- \* Струми однофазного пошкодження в системі ТТ з заземленою нейтраллю трансформатора живлення та заземленими корпусами обладнання значно більші, ніж у системі ІТ, однак вони істотно обмежені опорами заземлень  $R_n$  та  $R_u$ . Тому традиційні струмові захисти (запобіжники, автоматичні вимикачі з тепловими та електромагнітними розчіплювачами) можуть виявитися недостатньо чутливими для їх надійного вимкнення. Отже, перевага обмеження струму однофазного КЗ перетворюється у недолік через неможливості його швидкого вимкнення.
- \* Систему ТТ в Україні не використовують, однак дискутується можливість введення її до стандарту.

# Режими нейтралі: TN-C (4)



- \* Систему TN можна реалізувати у вигляді одного з її різновидів: TN-C, TN-S, TN-C-S.
- \* Позначення TN-C відповідає такій системі, в якій нейтраль джерела приєднана до “землі” (контуру заземлення підстанції), нейтральний провід приєднують до нейтралі джерела, а корпуси обладнання приєднують до нейтрального проводу виконують захисний захід “занулення”. Цей провід одночасно використовують також як робочий для приєднання, наприклад, однофазних електроприймачів. Для підвищення рівня безпеки виконують повторні заземлення нульового проводу вздовж магістральної ЛЕП, що зменшує опір заземлення.
- \* Отже, нейтральний провід PEN використовують і як робочий N, і як захисний PE, що відображено у позначенні типу системи літерою C.

# Режими нейтралі: TN-S (5)



- \* Система *TN-S* відрізняється від попередньої (*TN-C*) тим, що до заземленої нейтралі джерела живлення приєднані не один, а два нейтральних провідники: один - робочий, позначений літерою N, а другий - захисний, позначений PE. **Загальна кількість провідників у цій системі становить 5: три фазних і два нейтральних.**
- \* Недоліком системи *TN-S* є збільшення витрат на мережу (необхідно прокладати додатковий провідник), а також на комутаційні апарати, в яких рекомендується застосовувати додатковий полюс для комутації нульового робочого проводу. Цей останній захід попереджає можливість появи напруги в нейтралі (незалежно від причини) на вимкненому обладнанні, що важливо для безпечного виконання на ньому налагоджувальних, ремонтних чи інших робіт.

# Режими нейтралі: TN-C-S (6)

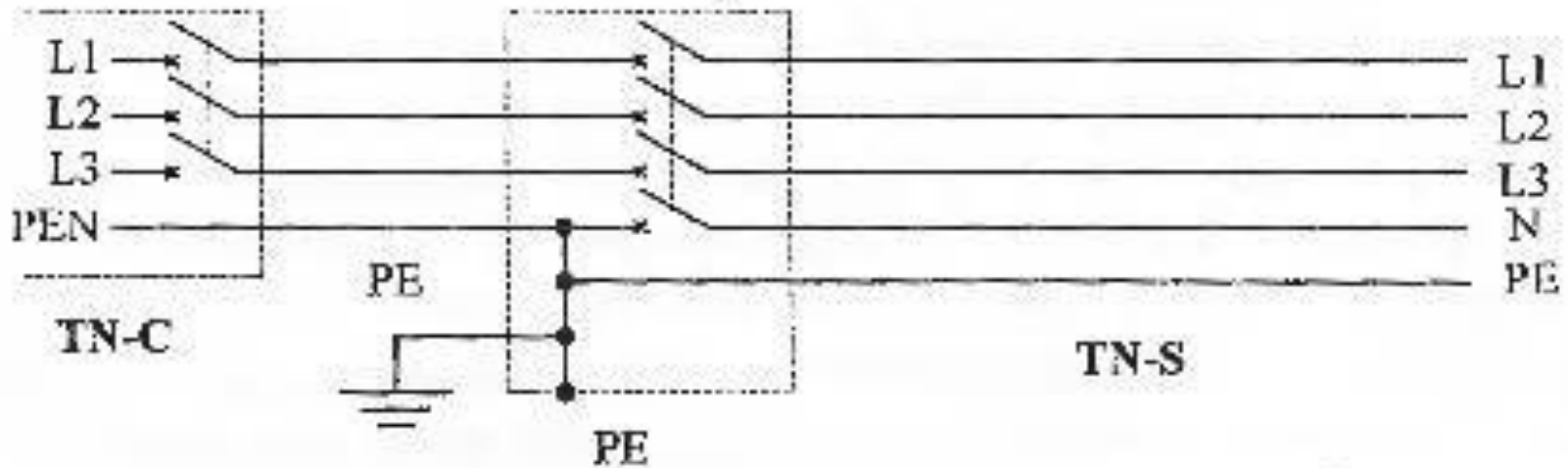


Рис. 6.5. Схема мережі за системою TN-C-S для перехід від системи TN-C до системи TN-S



Дякую за увагу!

