

Villamos energetika (viveab01)

- 1. előadás -

Dr. Ladányi József, egyetemi docens
Tanszékvezető

ladanyi.jozsef@vet.bme.hu, (1) 463-2743, V1.306



Villamos Energetika Tanszék
Villamos Művek és Környezet Csoport



A tárgyról

- Óraszámcsökkentés!! – Otthoni feldolgozandó előadások!!!!

Előadások:

- minden Hétfőn 12:15-13:45 (E1B)
- részvétel TVSZ szerint 70% - katalógus

Gyakorlatok:

- összesen max. 7 gyakorlat, Id. Neptun (2. héten kezdődnek - katalógus)
- **5 alkalmon kötelező a részvétel (70%)**

Laborok:

- mindenkinek összesen 3 kötelező alkalom, beosztás később (várhatóan március elején indulnak a mérések) - ***1 pótlási lehetőség***

A tárgyról

www.vet.bme.hu • Oktatás • BSc • Villamos energetika
<https://vet.bme.hu/tantargyak/villamos-energetika>

TAD (tantárgyi adatlap) innen is elérhető!

Követelmények:

a) A szorgalmi időszakban:

- A nagyzárthelyi (vagy a pótzh) sikeres (legalább elégséges) teljesítése.
- Részvétel a laborfoglalkozásokon.
- Jelenlét a gyakorlatok legalább 70%-án (a TVSZ szerint).

b) A vizsgaidőszakban:

- Írásbeli vizsga szóbeli kiegészítés lehetőségével (ha az írásbeli eredménye legalább elégséges, akkor a vizsgaeredmény legfeljebb egy jeggyel változtatható a szóbelin).

c) A végső érdemjegy kialakításának módja:

- Amennyiben a vizsgán kapott jegy legalább elégséges, akkor annak érdemjegye 70% súllyal, és a nagyzárthelyi (vagy a pótzárthelyi) érdemjegye 30% súllyal. Elégtelen vizsgajegy esetén a végső érdemjegy elégtelen.

A tárgyról

Előadó:

Dr. Ladányi József, ladanyi.jozsef@vet.bme.hu

Gyakorlatvezetők:

- Lásd gyakorlaton

Laborbeosztás és pótlások:

Prikler László, prikler.laszlo@vet.bme.hu

A tárgyról

Zh: 2020. március 23., hétfő, 8:15-9:45 (*termek és beosztás később, a honlapon*)

Pótlási lehetőségek:

Szorgalmi időszakban:

- PótZh: 2020. április 9., csütörtök, 18:00-20:00 (*termek és beosztás később, a honlapon*)
- 1 db pótmérési lehetőség (üres helyek kihasználhatók félév közben!!)

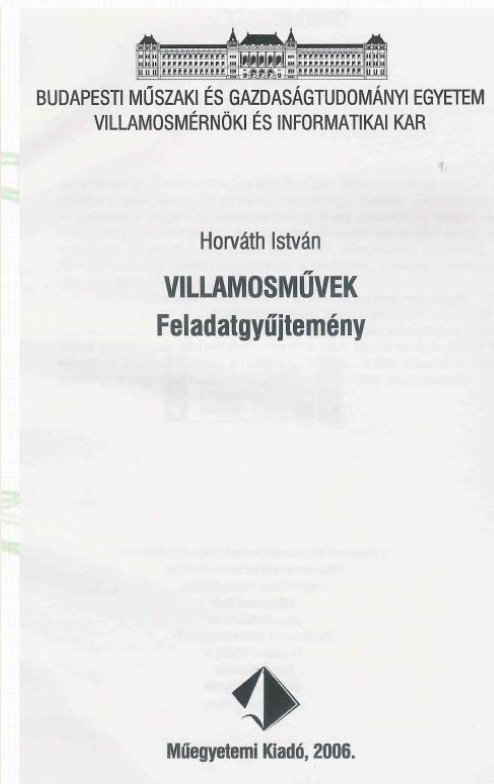
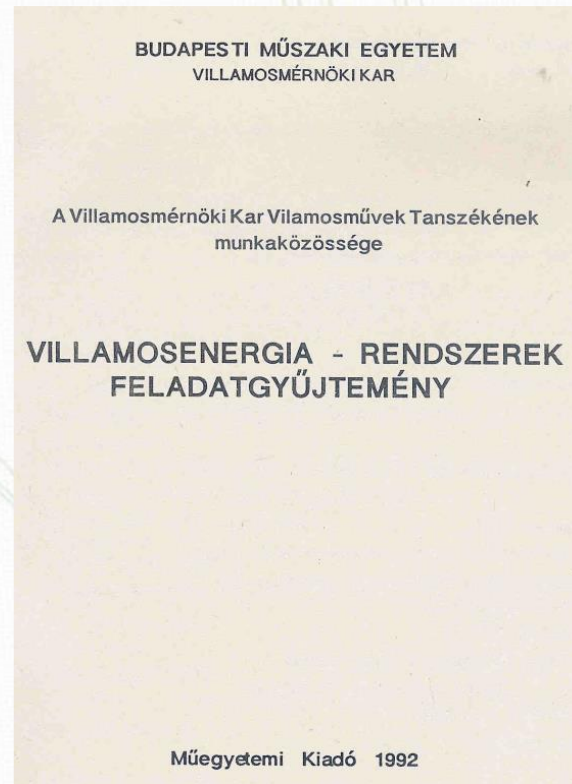
Pótlási héten:

- **NINCS pótpótZH a tárgyból!** (*kivétel a TVSZ szerint*)

Jegyzetek, segédanyagok

Gesztli P. Ottó: Villamosenergia-rendszerek I-II-III.

•Továbbá:



•Tárgy honlapja: alapozó segédlet! + előadás diák

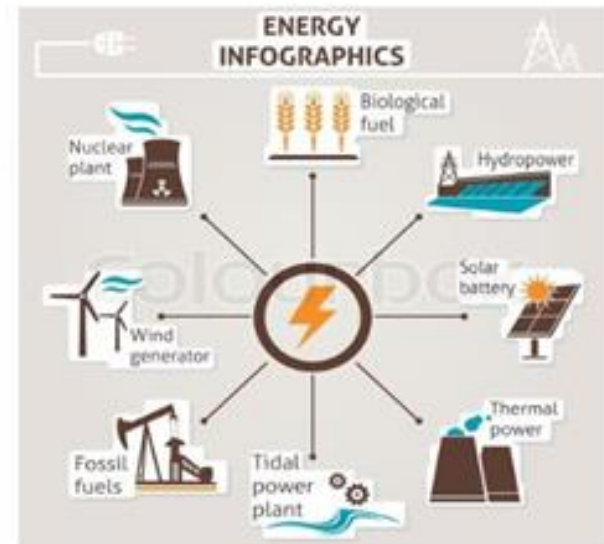
Egyéb érdekes/hasznos információk

- <http://vm.vet.bme.hu> • Érdekességek
- Facebook



Globális energetikai trendek

- ❑ Fókusz a fejlődő piacokon
- ❑ Intelligensebb energetika ipar
 - Termelés
 - Elosztás
 - Felhasználás
- ❑ Megújuló vagy atom ?
- ❑ Energetikai informatikai trendek
- ❑ Intelligens mérés, intelligens város
- ❑ Telekommunikáció és energetika kapcsolódása



The background is a faded, light green image of a high-voltage power line tower. The tower is a lattice structure with multiple cross-arms supporting power lines. The image is semi-transparent, allowing the text to be clearly visible over it.

Ha villany van, minden van!

Villamos energia – amikor nincs - a legnagyobb kiesések, eddig...

	Érintett lakosság [millió fő]	Érintett terület	Időpont
2012-es indiai blackout	670	India	2012. július 30-31.
2005-ös Jáva-Bali blackout	100	Indonézia	2005. augusztus 18.
1999-es brazil blackout	97	Brazília	1999. március 11.
2009-es brazil-paraguay-i blackout	87	Brazília, Paraguay	2009. november 10-11.
2003-as északkeleti blackout	55	Egyesült Államok, Kanada	2003. augusztus 14-15.
2003-as olasz blackout	55	Olaszország, Svájc, Ausztria, Szlovénia, Horvátország	2003. szeptember 28.

Villamos energia – amikor nincs

- 2005. január 8-9, Svédország
 - Gudrun hurrikán: 2000 km **elosztóhálózati** vonal megkárosodott, 200 km teljesen tönkrement
 - **Átviteli hálózatot** nem érte komoly kár, városok ellátása megoldott
 - 4 hét alatt sok emberévnyi munka a helyreállításban

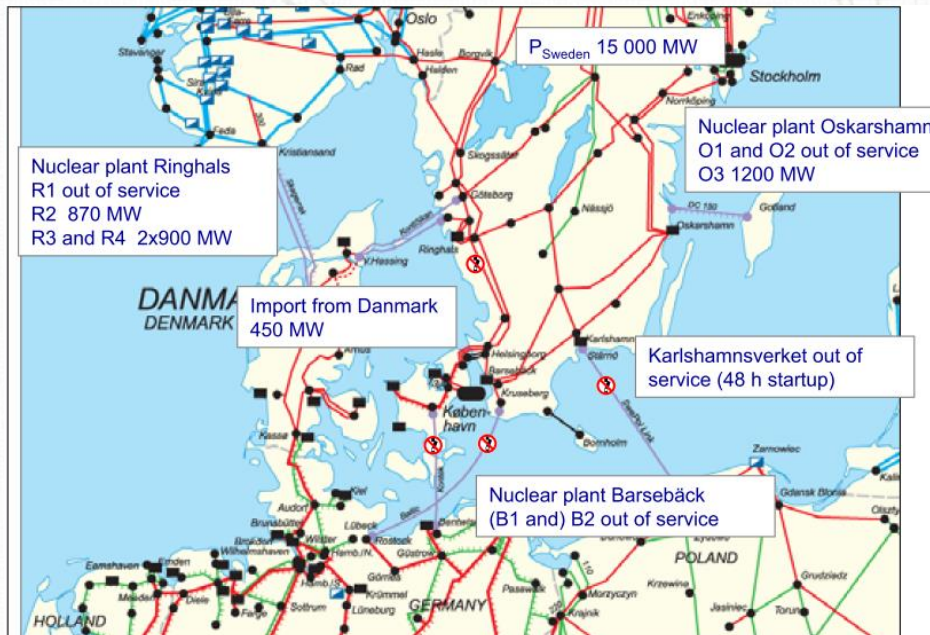


Olof Samuelsson

- Mi az, hogy átviteli / elosztóhálózat, fizikailag milyen elemekből épül fel a villamos energiaellátás?

Villamos energia – amikor nincs

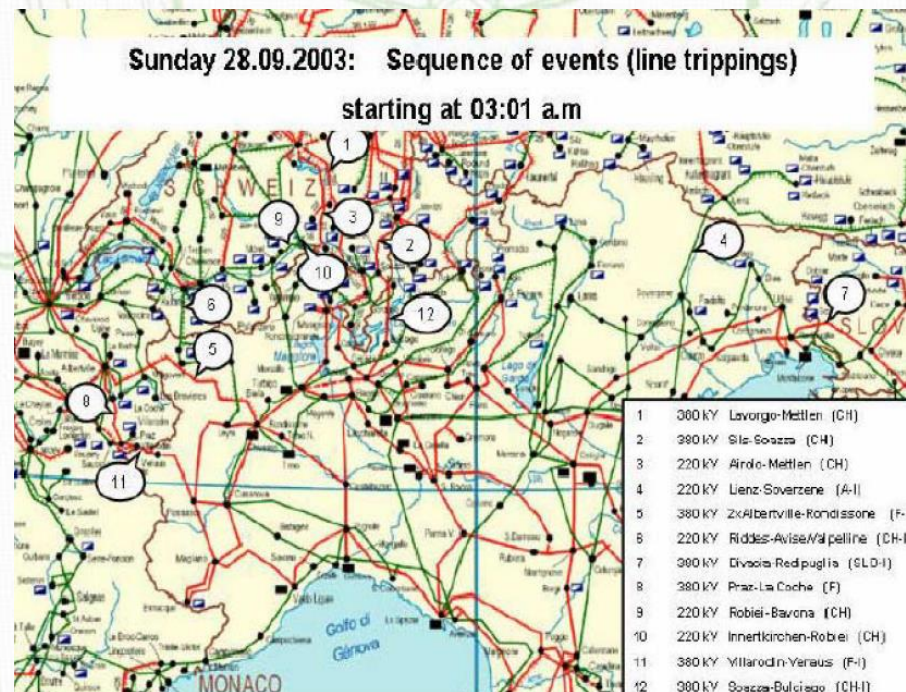
- 2003. szeptember 23, Svédország
 - Indító esemény: 2F **zárlat** egy **alállomásban**
 - Végül (7 perc múlva): **feszültségösszeomlás**
 - 4M ember érintett, 1,5..6,5 óra helyreállítás



Olof Samuelsson

Villamos energia – amikor nincs

- 2003. szeptember 28, Olaszország
 - Vihar → két távvezeték kiesik, túl nagy **szögkülönbség** miatt nem lehetséges a visszakapcsolás
 - majd gyors egymásutánban az összes olasz-svájci összeköttetés kiesik **túlterhelődés** miatt
 - 58M ember érintett
 - teljes helyreállítás
16,5 óra múlva



Olof Samuelsson

Villamos energia – amikor nincs

- 2003. szeptember 28, Olaszország
 - Mitől alakul ki „kaskád” eseménysorozat, teljesítményáramlások, teljesítmény-frekvenciaszabályozás kérdései
 - Szivattyús-tározós erőművek
 - Frekvenciafüggő terheléskorlátozás
 - Kereskedelem szempontjai hogy szólnak bele az üzemeltetésbe
- „... It is one of the key-consequences of **deregulation** that the power transfer across the systems is nowadays much more widespread and fluctuating than initially designed by the system planners. The system elements are going to be loaded up to their limits with risk for losing the **n-1 reliability criteria**. System enhancement will be essential in the future, in Europe too.”

Villamos energia – amikor nincs

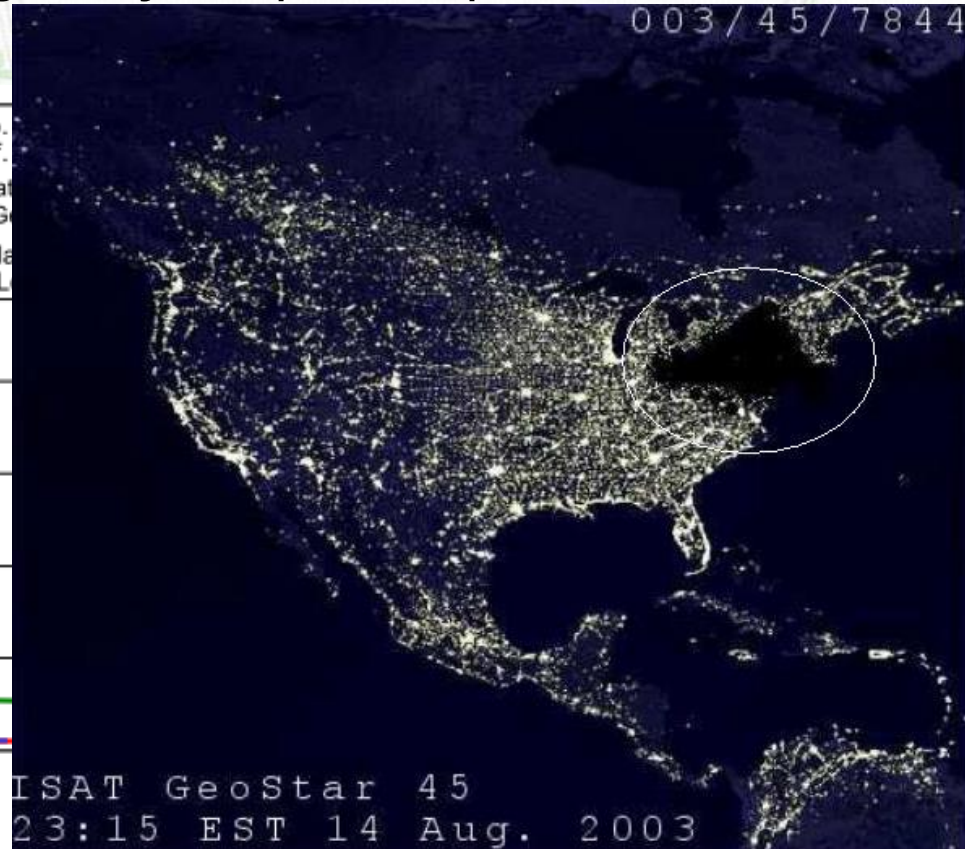
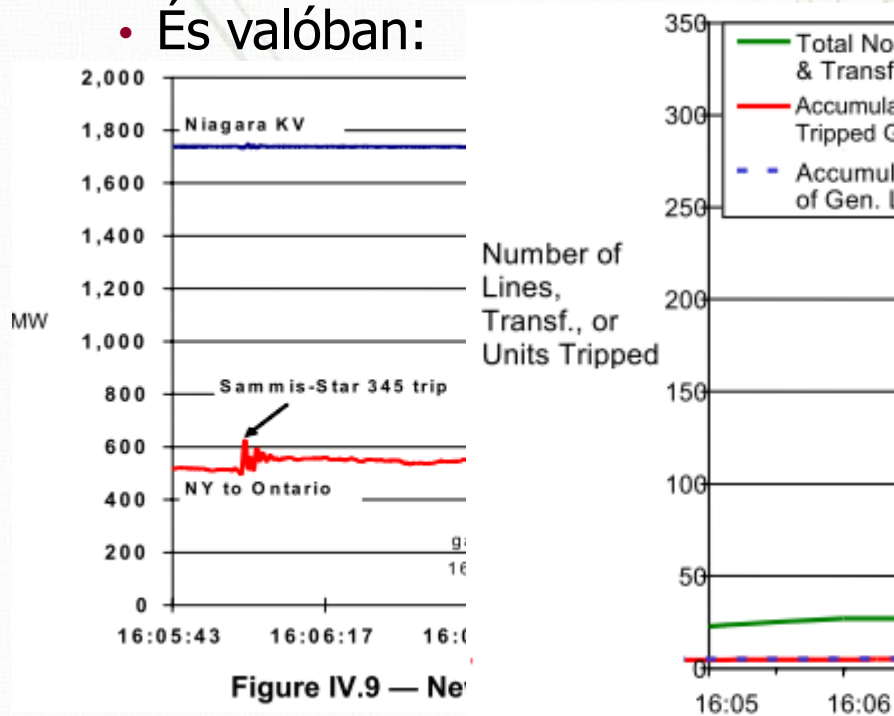
- 2003. augusztus 14, USA
 - 50M ember (pár óra .. 2 nap .. Két héten keresztül több „blackout”)
 - A kivizsgálásban >100 ember vett részt, több hónapon keresztül
 - Nem volt megfelelő terheléskorlátozási rendszer.
- Induláskor: feszültségproblémák. Telefonbeszélgetések:
 - “We got a way bigger load than we thought we would have. ...”
 - “We’re sagging all over the system. I need some help.”
 - “Can you pump up your voltage?” “Could you boost your 345?”
 - “Could you give me a few more volts?”
 - **“Give me what you can, I’m hurting.”**
 - The response to the FE Western Desk: “We’re fresh out of vars.”



Villamos energia – amikor nincs

- 2003. augusztus 14, USA
 - AEP Operator: "Now something else just opened up. A lot of things are happening." ...

- És valóban:



Villamos energia – amikor nincs

- 2001. január 17-18, Kalifornia (májusig tartó eseménysorozat)
 - Villamosenergia kereskedelemmel összefüggő okok!!
 - 1996-tól dereguláció
 - 45 GW beépített erőművi kapacitás, 28 GW körüli fogyasztás
 - DE: pár cégnek sikerült mesterségesen hiányt előidéznie
 - Termelés hiánya → árak 20-szoros értékre nőnek, import igény nő;
 - Közben rendszerközi vezetékekre szállítási jog megszerzése, túlzott menetrendek leadása arra a vezetékekre („Death Star” strategy);
 - Így a szűkös átviteli kapacitás benyomását keltették → azon is keresnek
 - Mindeközben más cégek csődbe mennek az ársapka miatt (elbocsájtások)
 - Enron → Cal.Power Authority: "In the final analysis, it doesn't matter what you crazy people in California do, because I got smart guys who can always figure out how to make money."



Villamos energia – amikor nincs

- Pár kép itthonról: 2009.01.27-28 (Kátai Tamás, EON)



De lesz



USA + Kanada rendszerüzemzavar érintettjei

- USA: 8 állam (Connecticut, Massachusetts, Michigan, New Jersey, New York, Ohio, Pennsylvania, Vermont)
- Kanada: 1 tartomány (Ontario)
- Összesen 50 millió lakos
- Kiesett erőművi kapacitás:
263 erőmű 531 gépegysége, összesen 61 800 MW
- Nem szolgáltatott villamos energia: kb. 350 TWh
(Magyarország évi fogyasztásának 10-szerese)
- Becsült nemzetgazdasági kár: kb. 4 milliárd USD

The background is a faded, light green image of a high-voltage power line tower and its associated transmission lines, stretching across the frame.

Jelenlegi villamosenergia- rendszer

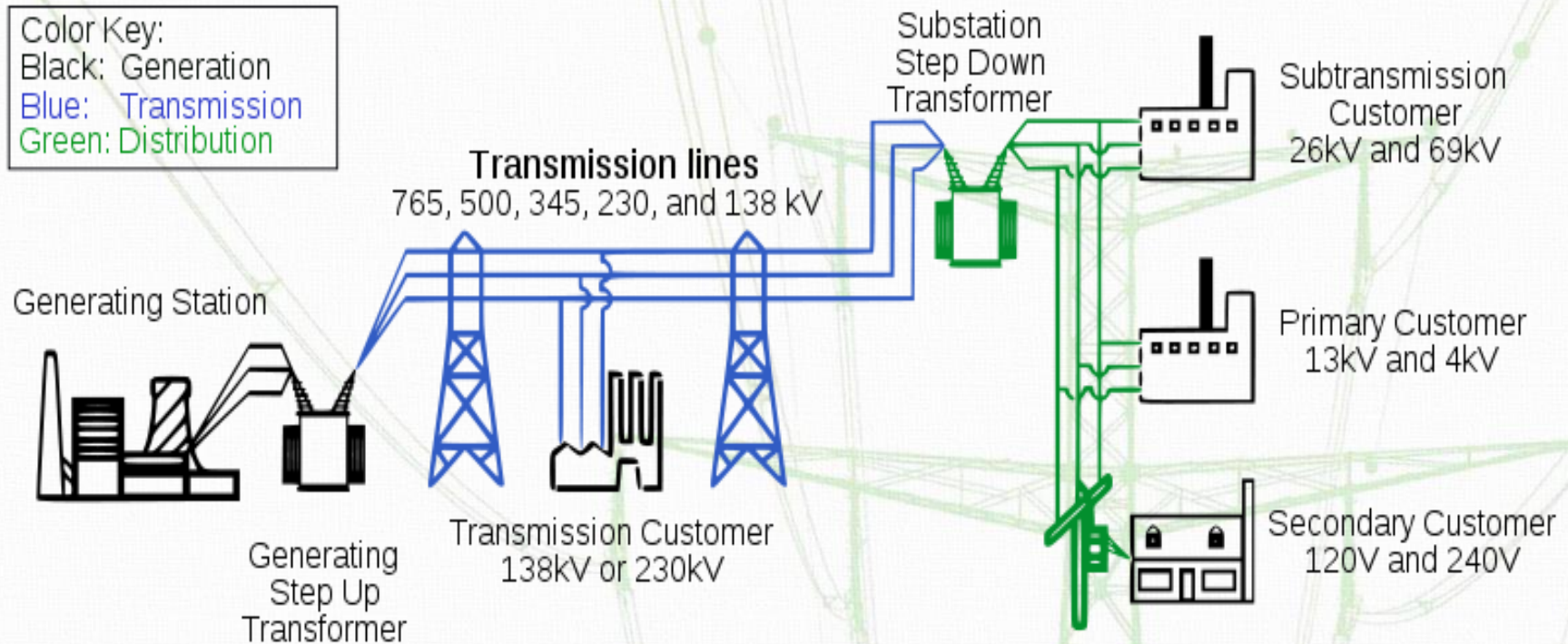
Villamosenergia-rendszer alrendszerei

- Termelés (Villamos energia + Hőenergia)
- Szállítás (Nagyfeszültségű átviteli hálózat ($U_n > 120$ kV))
- Elosztás (Nagy-, közép- és kisfeszültségű elosztó hálózat ($U_n = 120$ kV; 11-22 kV; 0,4 kV, rendre))
- Felhasználás (Háztartások, ipar, szolgáltatás)

Egy villamosenergia-rendszer és alkotóelemei



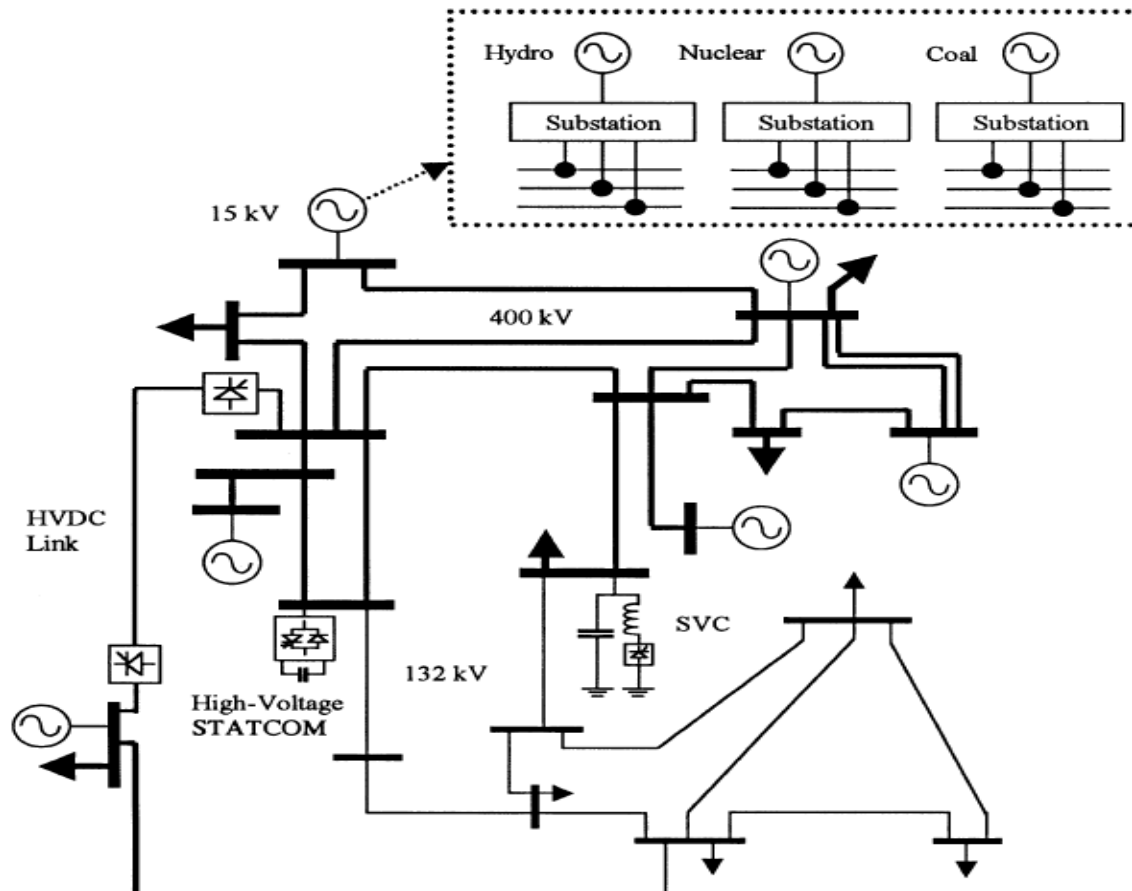
Villamosenergia rendszerek fizikai felépítése



<http://www.nerc.com>

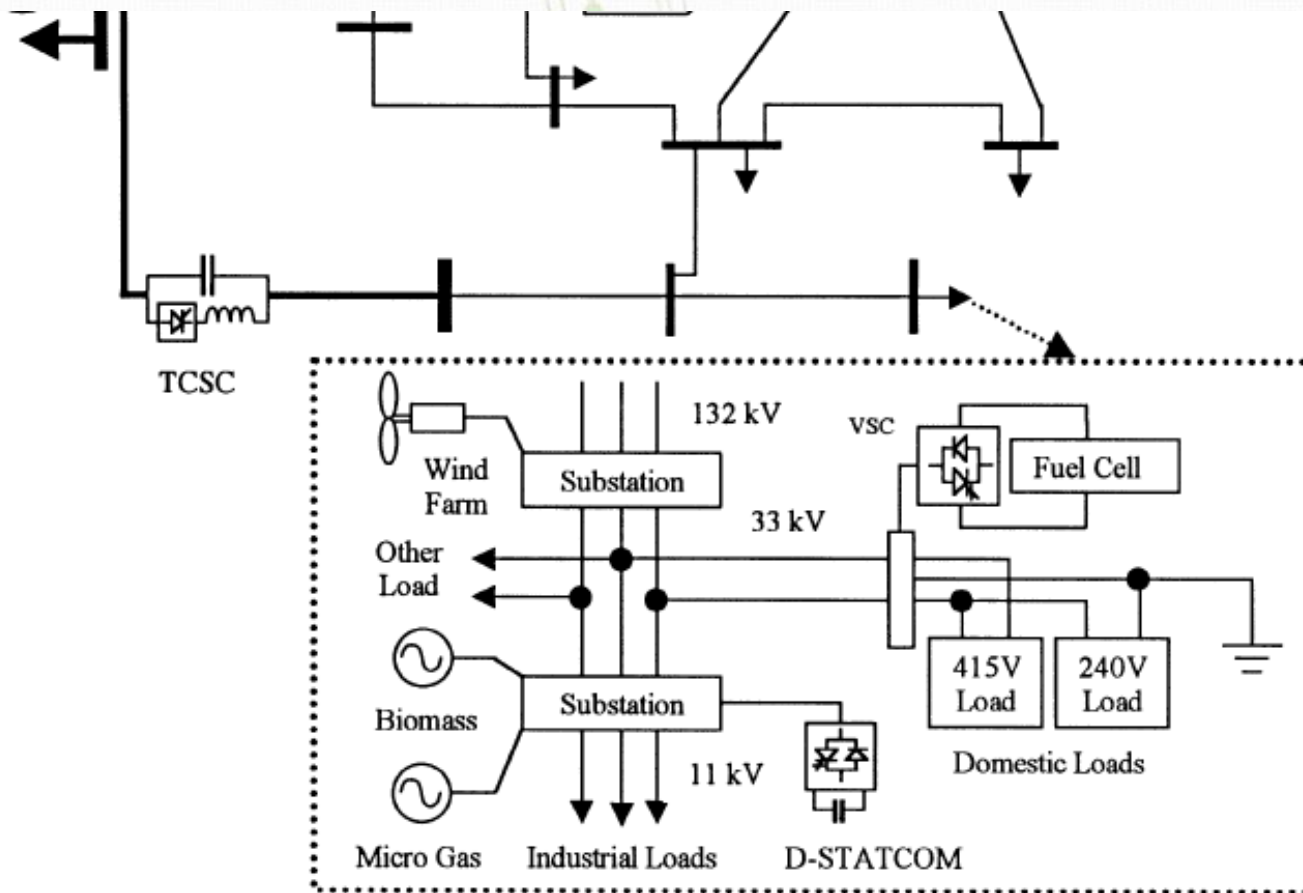
Villamosenergia-rendszerek fizikai felépítése

Nagy erőművek – átviteli hálózat



Villamosenergia-rendszerek fizikai felépítése

Elosztóhálózat, fogyasztók, elosztott energiatermelés



A villamosenergia-rendszer (VER) néhány sajátos jellemzője

- A villamosenergia-rendszerek valós idejű (real-time) energiatovábbításra képes rendszerek:
 - A teljesítményt abban a pillanatban kell előállítani, szállítani (továbbítani) és szolgáltatni, amikor a fogyasztási igény jelentkezik (felkapcsoljuk a villanyt).
 - A generátoroknak akkor kell a villamos energiát szolgáltatniuk, amikor a fogyasztói igény jelentkezik a hálózaton.
- A villamosenergia-rendszer **NEM rendelkezik** számottevő (energia)**tárolókkal**, ebben jelentősen eltér a víz-, hő- és gáz szolgáltató rendszerektől.
- A VER-ben valós **ENERGIA** áramlik a vezetékekben, így jelentősen különbözik az "információ továbbító=infocom" hálózatoktól:
 - Pl. vezetékes telefon, kábel TV, IP net esetén a vezeték csak az analóg vagy digitális **JEL** átvitelére szolgál (a vezetékes telefonban minimális energiatovábbítás is van!)
 - A vezeték nélküli hálózatokon (mobil telefon, WiFi, Bluetooth) a **JEL** átviteléhez már vezeték se kell.

The background is a faded, light green image of high-voltage power lines and lattice towers, stretching across the frame.

Jövő villamosenergia- rendszere !?

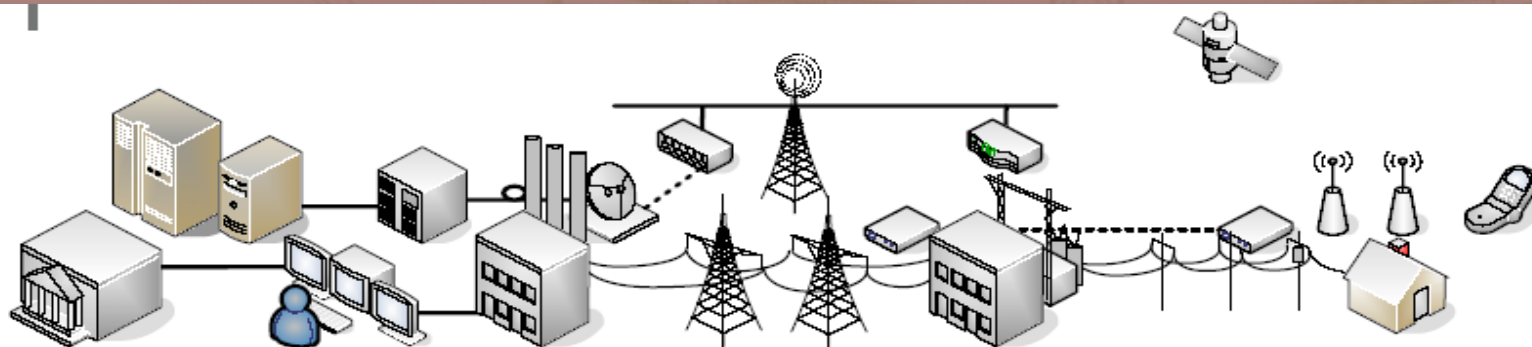
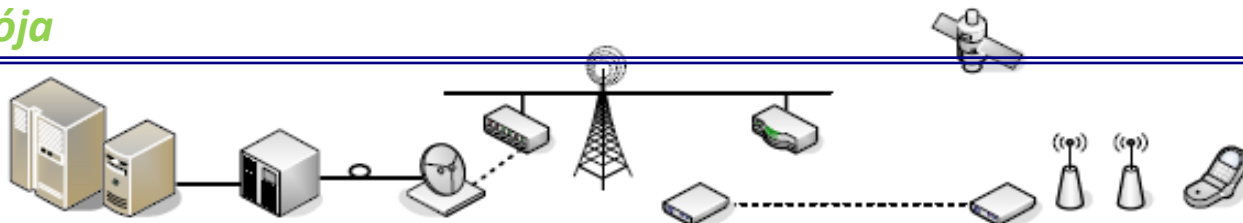
Kitekintés a jelenbe/jövőbe: Smart Grid (okos hálózat) (1)

Electrical
Infrastructure



Smart grid (Okos hálózat): Az energiaátviteli és az információátviteli hálózat integrációja

Information
Infrastructure



Asset
Management

Grid Control

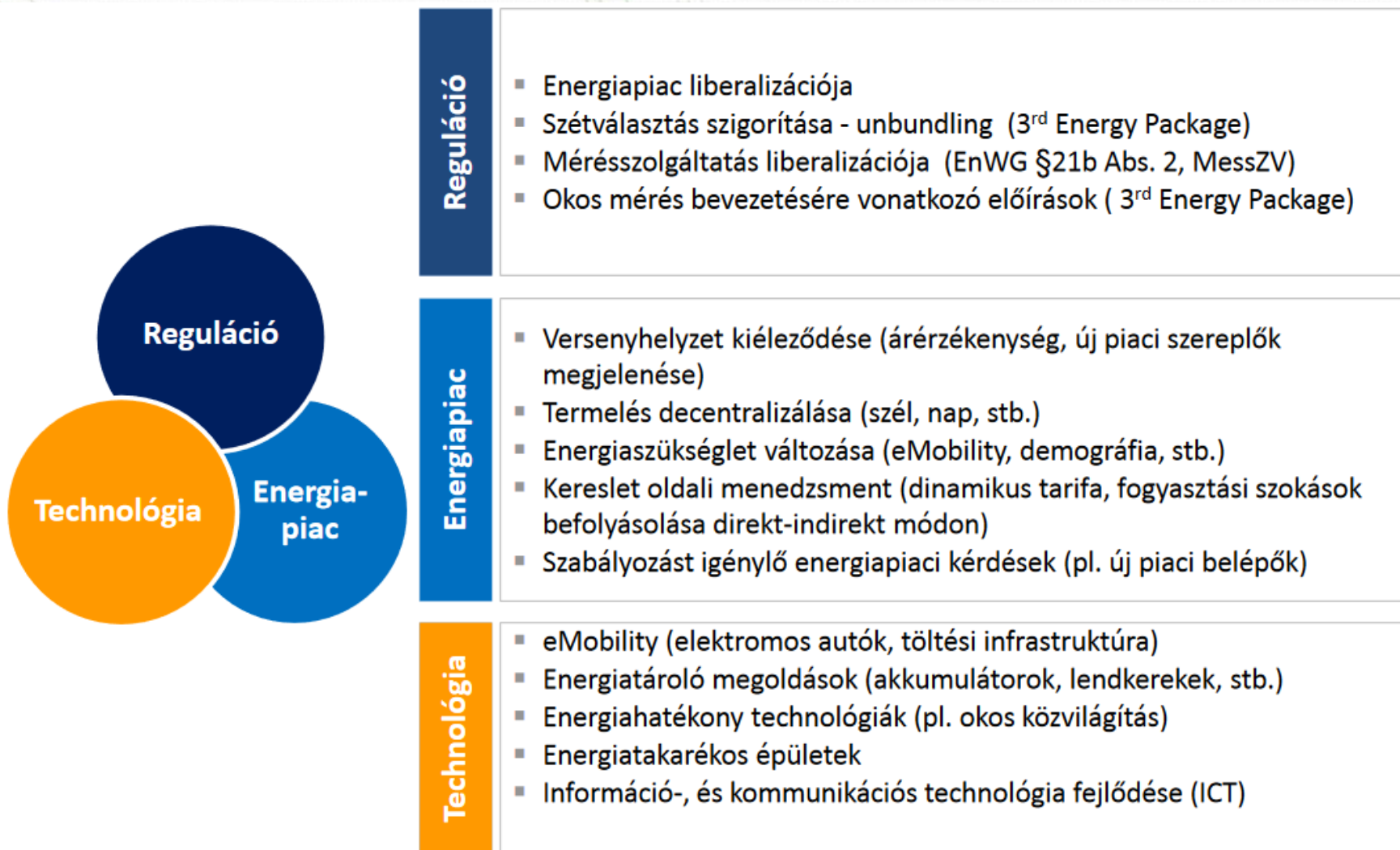
Data Collection
& Local Control

Communications Sensors

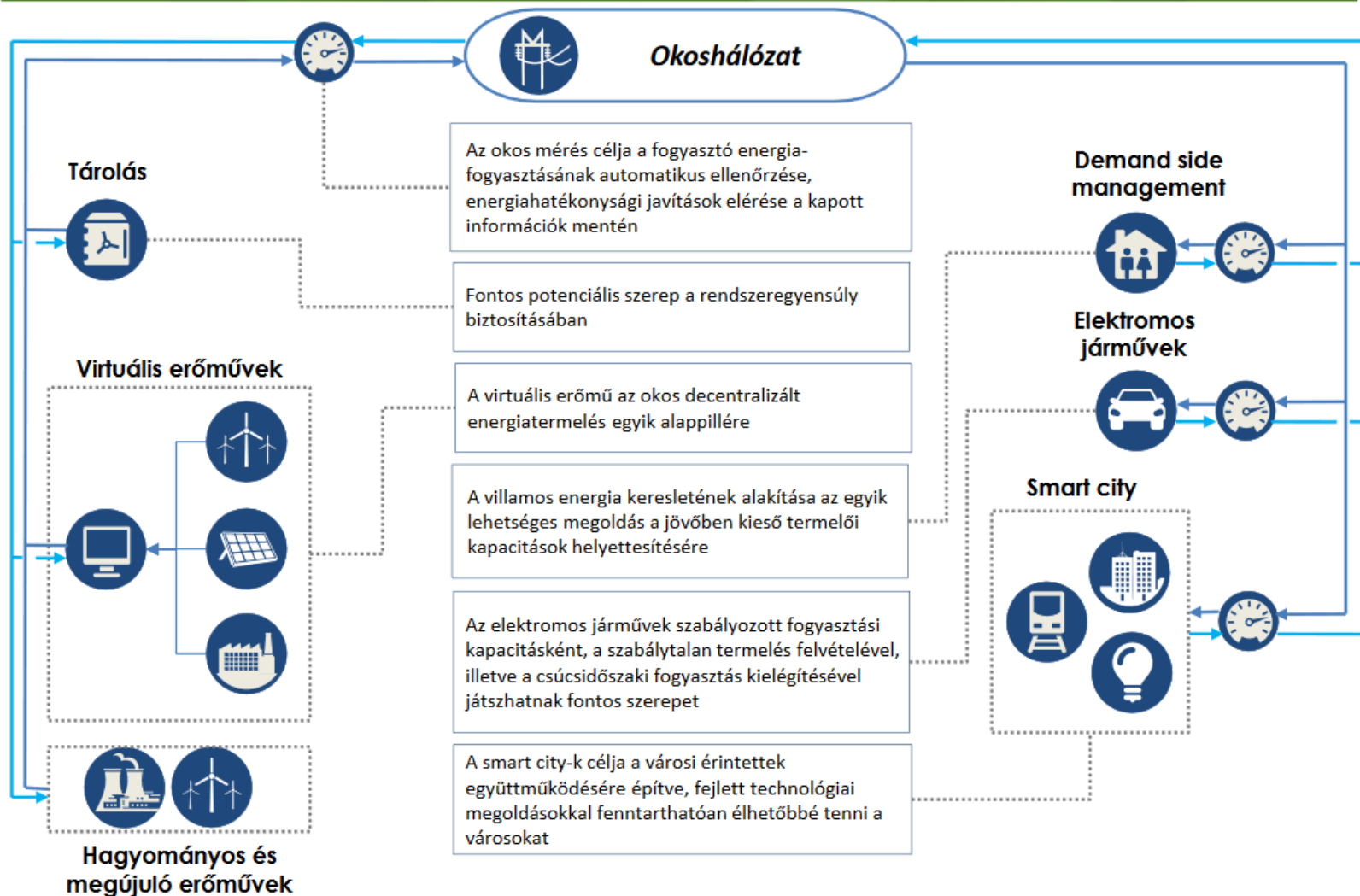
Kitekintés a jövőbe: Smart Grid (2)



Az okos hálózatok elterjedésének legfőbb mozgatórugói



Energia- és költséghatékonyság javítás



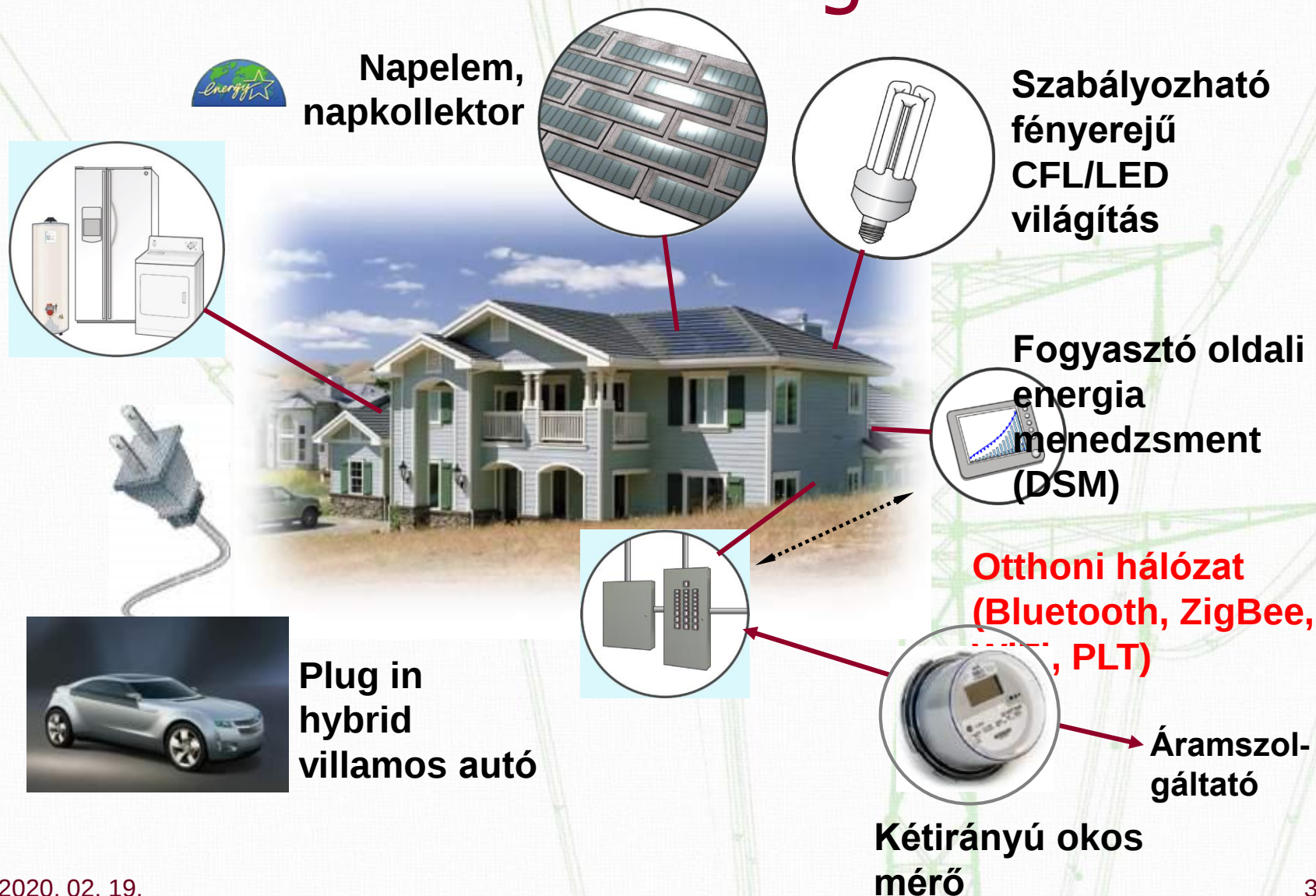
E-mobility



Smart Grid követelményrendszer

- Self-Healing** to correct problems early - Öngyógyító képesség
- Interactive** with consumers and markets - Interaktív
- Optimized** to make best use of resources - Optimalizált, hatékony
- Predictive** to prevent emergencies - Hibás állapotok megelőzése
- Distributed** assets and information - Elosztott (eszközök, források, információk)
- Integrated** to merge all critical information - Integrált (kritikus információk egyesítése)
- More Secure** from threats from all hazards - Biztonságos

Smart Home – Intelligens otthon

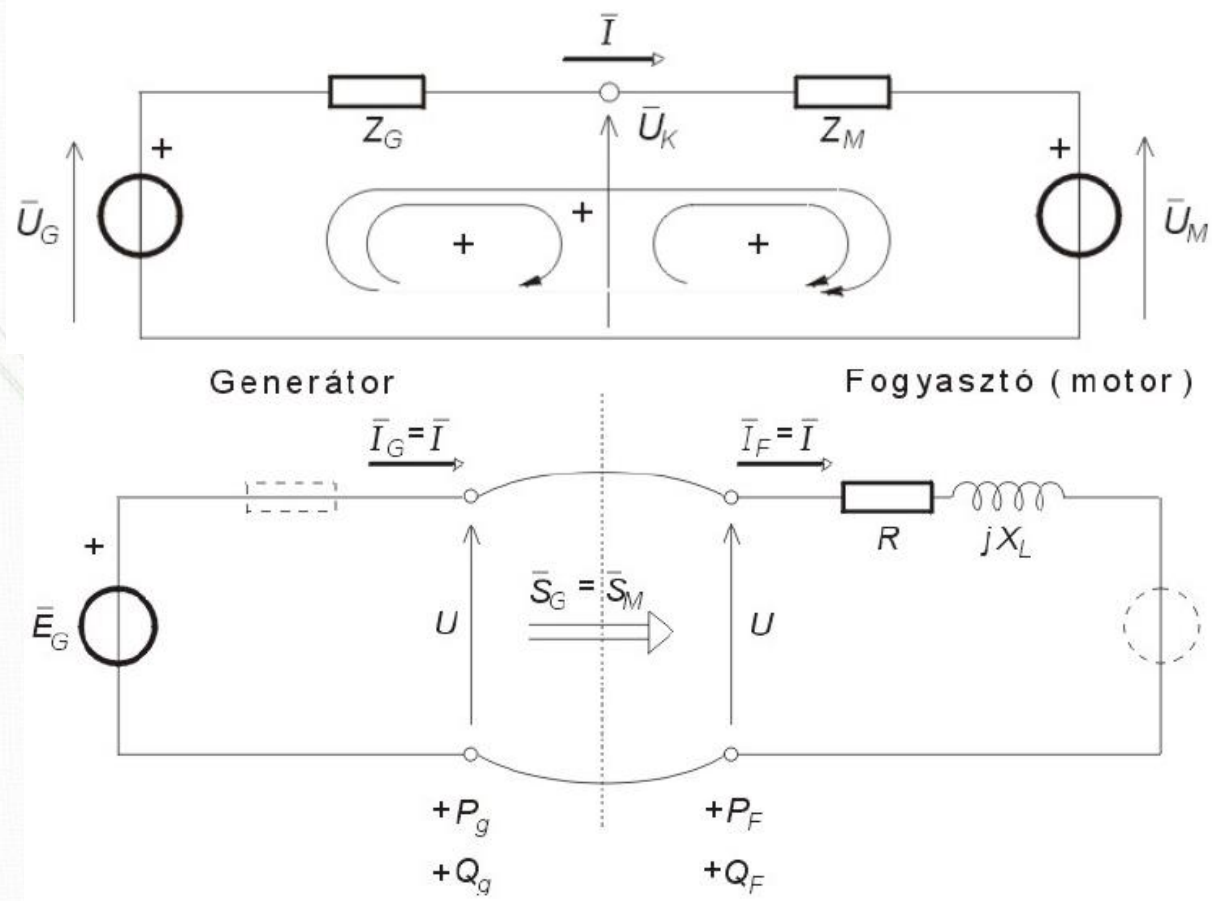


Áttekintés

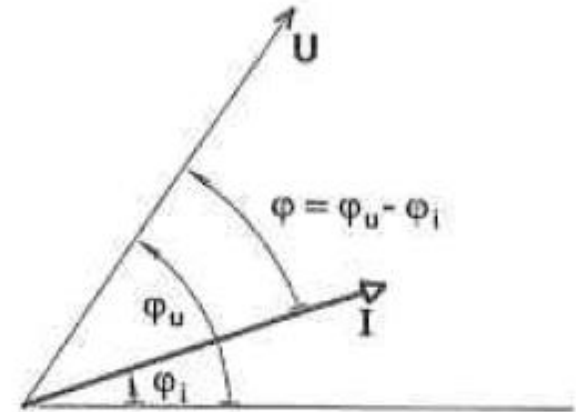
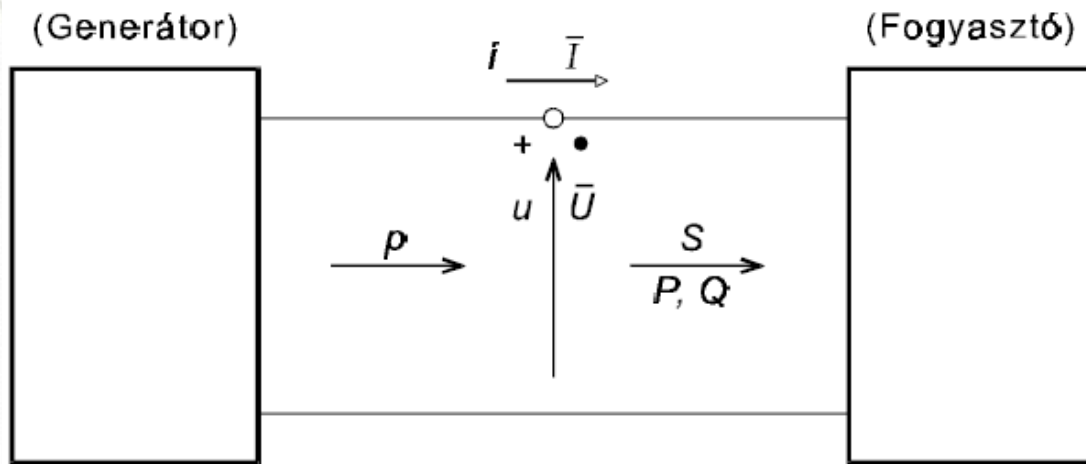
Villamos hálózatok számításának alapjai, konvenciók, definíciók

Előjelek

- Fogyasztói pozitív irányrendszer ill. generátoros pozitív i.r.



Definíciók



Pillanatértékek:

$$u(t) = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_u) = \sqrt{2} U \cdot \cos(\omega t + \varphi_u)$$

$$i(t) = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_i) = \sqrt{2} I \cdot \cos(\omega t + \varphi_i)$$

Komplex pillanatérték

$$\bar{u} = U_m \cdot e^{j(\omega t + \varphi_u)}$$

$$\bar{i} = I_m \cdot e^{j(\omega t + \varphi_i)}$$

Fázorok:

$$\bar{I} = I \cdot e^{j\varphi_i}$$

$$\bar{U} = U \cdot e^{j\varphi_u}$$

I_m, U_m : Maximumok
(Amplitúdó)
 I, U : Effektív érték
 $\varphi = \varphi_u - \varphi_i = -\varphi_i$

Teljesítmények - trigonometria

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot I_m \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

$$\cos \alpha * \cos \beta = \frac{1}{2} * [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

$$p(t) = U_m \cdot I_m \cdot \frac{1}{2} [\cos(2\omega t - \varphi) + \cos(\varphi)]$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$U_m \cdot I_m \cdot \frac{1}{2} = U \sqrt{2} \cdot I \sqrt{2} \cdot \frac{1}{2} = UI$$

$$p(t) = UI \cdot \{ [\cos(\varphi) \cos(2\omega t) + \sin(\varphi) \sin(2\omega t)] + \cos(\varphi) \}$$

$$p(t) = UI \cdot \cos(\varphi) +$$

$$UI \cdot \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + UI \cdot \sin(\varphi) \sin(2\omega t)$$

Teljesítmények

$$p(t) = u(t) \cdot i(t) = U_m \cdot I_m \cdot \cos(\omega t) \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = UI \cdot \cos(\varphi) + UI \cdot \cos(\varphi) \cos(2\omega t) + UI \cdot \sin(\varphi) \sin(2\omega t)$$

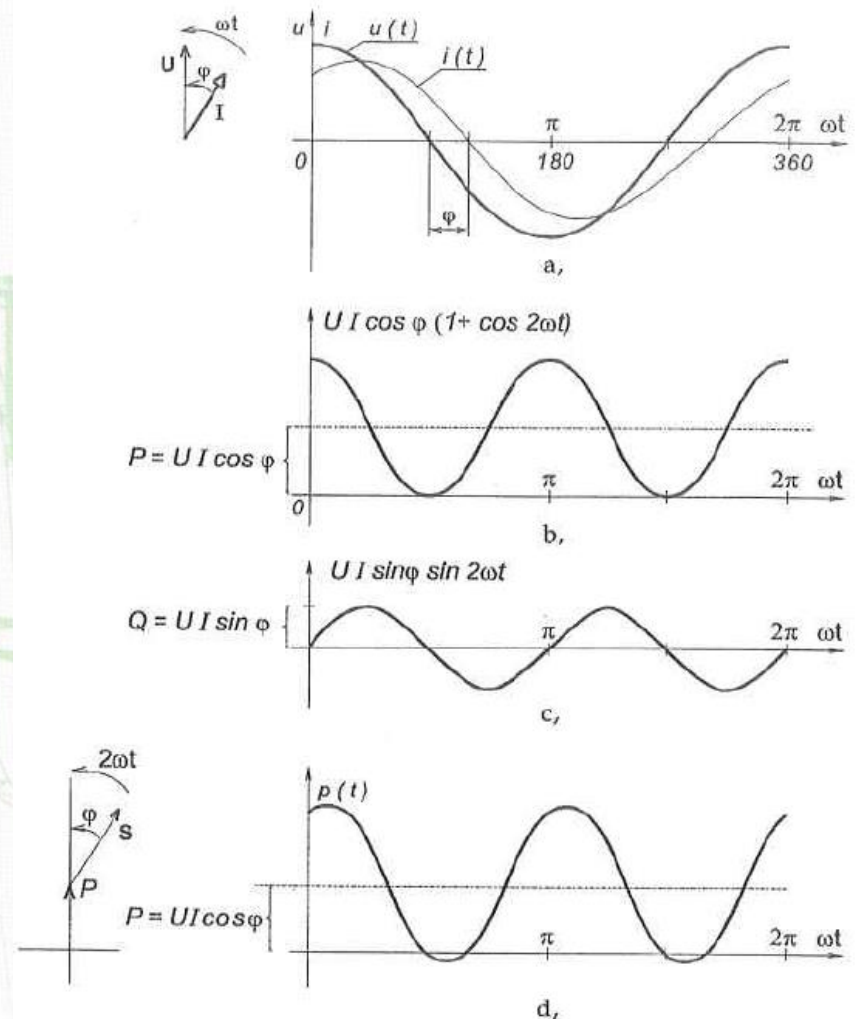
$$p(t) = P + S \cos(2\omega t - \varphi)$$

$$P = UI \cos \varphi$$

$$Q = UI \sin \varphi$$

$$\bar{S} = \bar{U} \bar{I}^* = UI \cos \varphi + UI j \sin \varphi = P + jQ$$

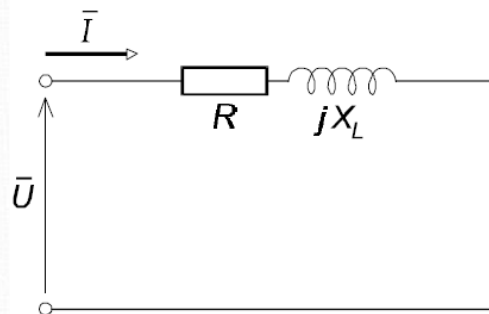
$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} = |\bar{S}|$$



Induktív fogyasztó

$$X_L = \omega L$$

$$X_C = -\frac{1}{\omega C}$$

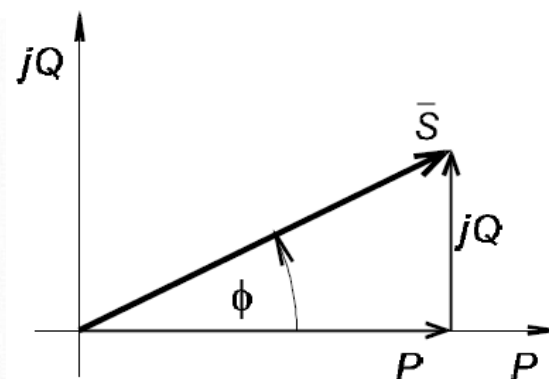
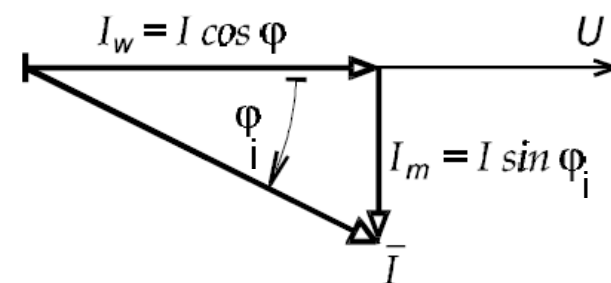
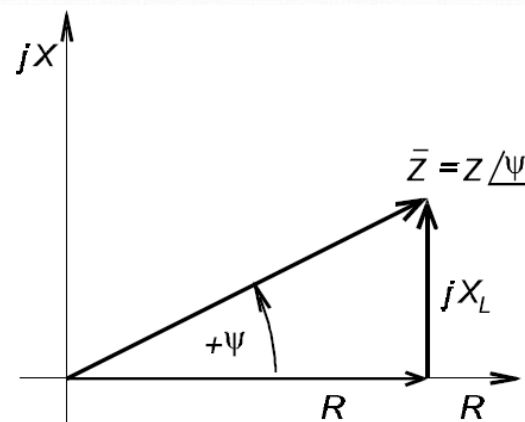


$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}} = \frac{U}{Z \angle \psi} = \frac{U}{Z} = I \angle -\psi = I \angle \varphi_i$$

$$\varphi = -\varphi_i = \psi$$

$$\bar{S} = \bar{U} \bar{I}^* = U I \angle \varphi_u - \varphi_i = U I \angle -\varphi_i = U I \angle \phi$$

$$\varphi = -\varphi_i = \phi$$



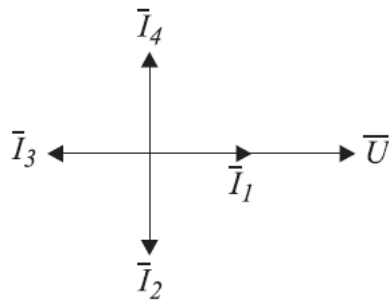
U, I, P, Q : Különböző fogyasztókra

A fogyasztó típusa	U-I fazorábra	Áram fázisszög értéke (feszültséghez képest)	P előjele	Q előjele
		$\varphi_i = 0$	$P > 0$	$Q = 0$
		$\varphi_i = -\frac{\pi}{2}$	$P = 0$	$Q > 0$
		$\varphi_i = +\frac{\pi}{2}$	$P = 0$	$Q < 0$
		$\varphi_i < 0$	$P > 0$	$Q > 0$
		$\varphi_i > 0$	$P > 0$	$Q < 0$

FOGYASZTÓI
POZITÍV
IRÁNYRENDSZER

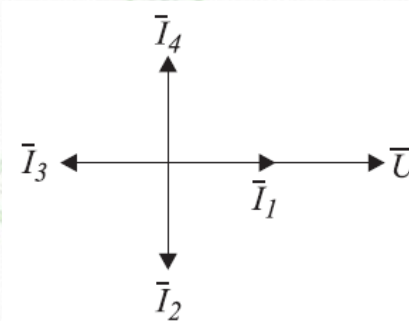
Teljesítmények előjele

Generátoros		Fogyasztói	
hatásos	meddő	hatásos	meddő
+ P termelés (betáplálás)	+Q kapacitív (szolgáltatás)	+P fogyasztás (felvétel)	+Q induktív (nyelés)
-P fogyasztás (vételezés)	-Q induktív (nyelés)	-P termelés (visszatáplálás)	-Q kapacitív (szolgáltatás)



A verhált sich wie ein(e)

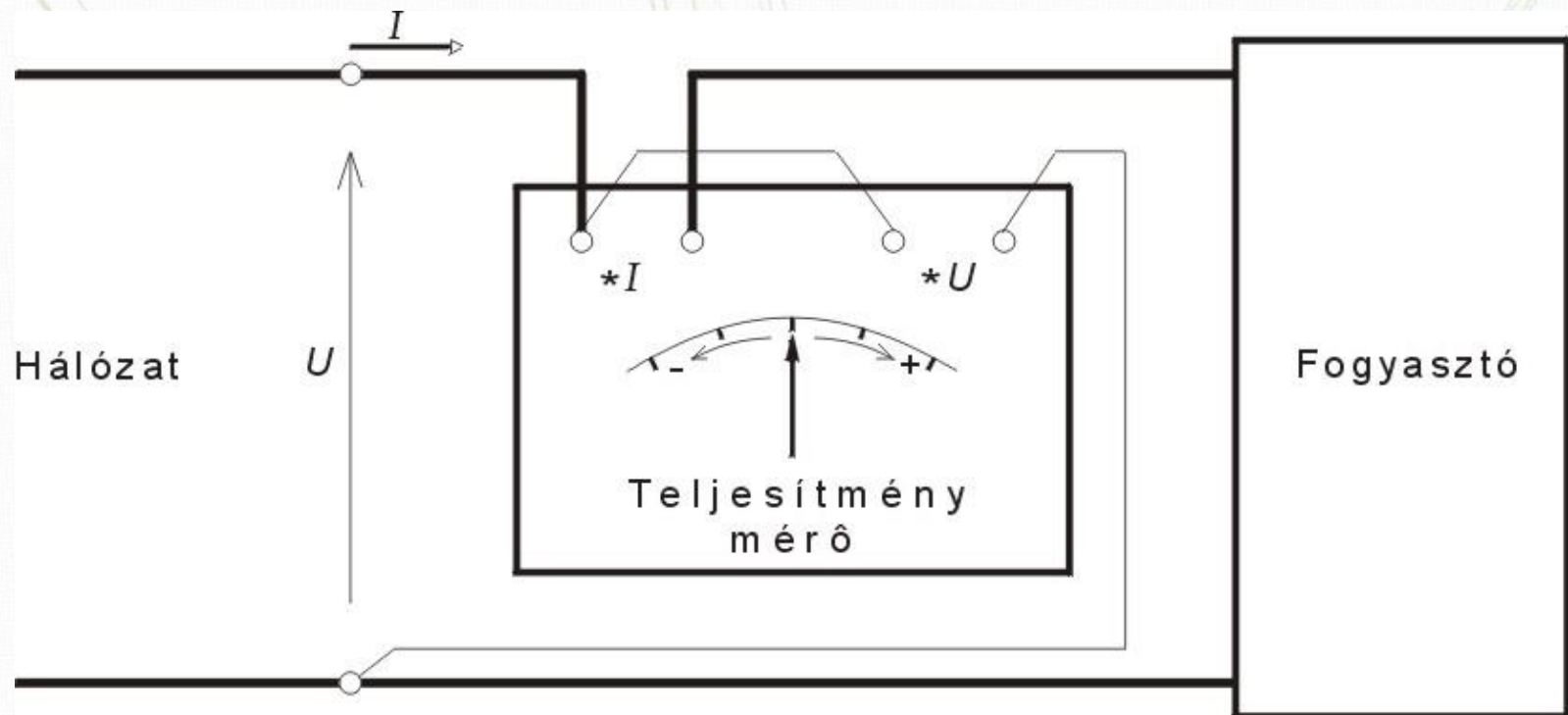
1. Generator
2. Kapazität
3. Ohm'scher Widerstand
4. Induktivität



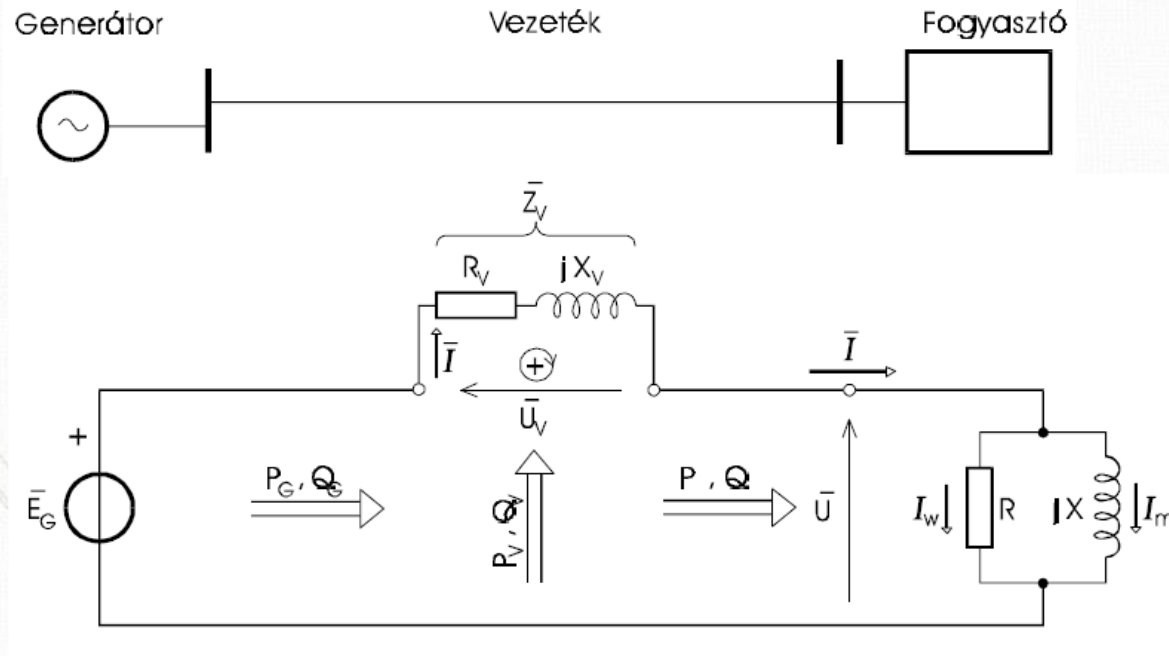
A verhált sich wie ein(e)

1. Ohm'scher Widerstand
2. Induktivität
3. Generator
4. Kapazität

Teljesítménymérés: fogy.poz.i.r.



Egyszerű 1f rendszer



Fogyasztó:

$$P = \frac{U^2}{R}, Q = \frac{U^2}{X}$$

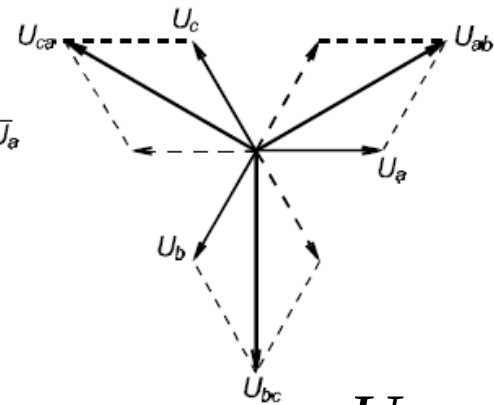
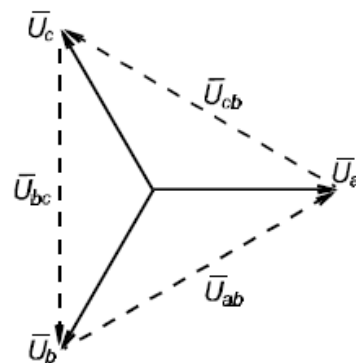
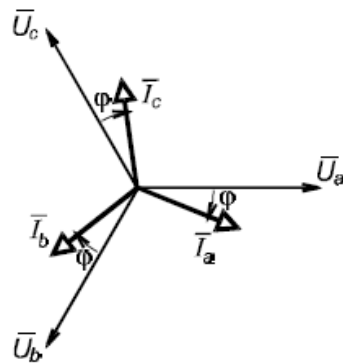
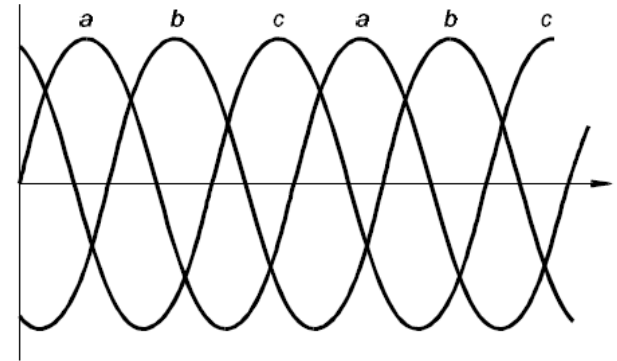
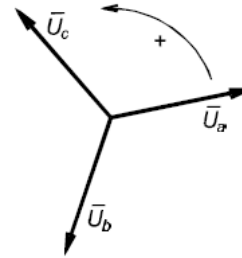
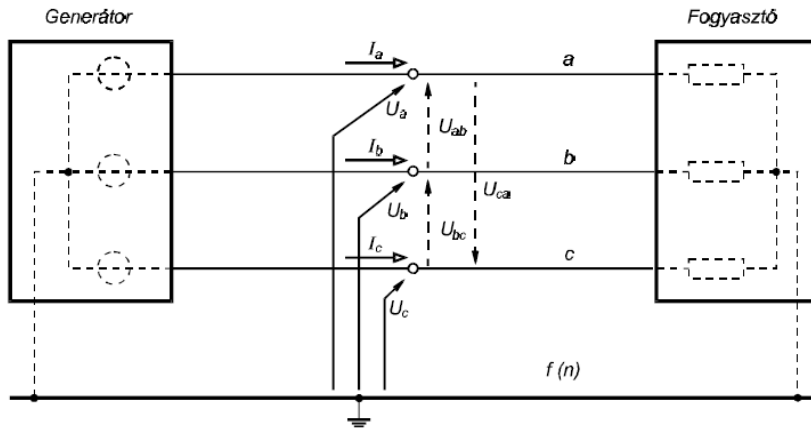
Vezeték:

$$\bar{U}_v = R_v + jX_v \bar{I}, \quad P_v = R_v I^2, Q_v = X_v I^2$$

Generátor:

$$P_G = P + P_v, \quad Q_G = Q + Q_v$$

Szimmetrikus 3f rendszer



$$U_v = \sqrt{3} U_f$$

Szimmetrikus 3f rendszer

$$u_a(t) = \sqrt{2}U_a \cos(\omega t)$$

$$u_b(t) = \sqrt{2}U_b \cos(\omega t - 120^\circ)$$

$$u_c(t) = \sqrt{2}U_c \cos(\omega t + 120^\circ)$$

$$U_a = U_b = U_c = U_f$$

$$U_{ab} = U_{bc} = U_{ca} = U_v = \sqrt{3}U_f = U \quad (!!!)$$

$$U_a = U_f \cdot e^{j0^\circ} \quad a = e^{j120^\circ}$$

$$U_b = U_f \cdot e^{j-120^\circ} = a^2 \cdot U_a$$

$$U_c = U_f \cdot e^{j120^\circ} = a \cdot U_a$$

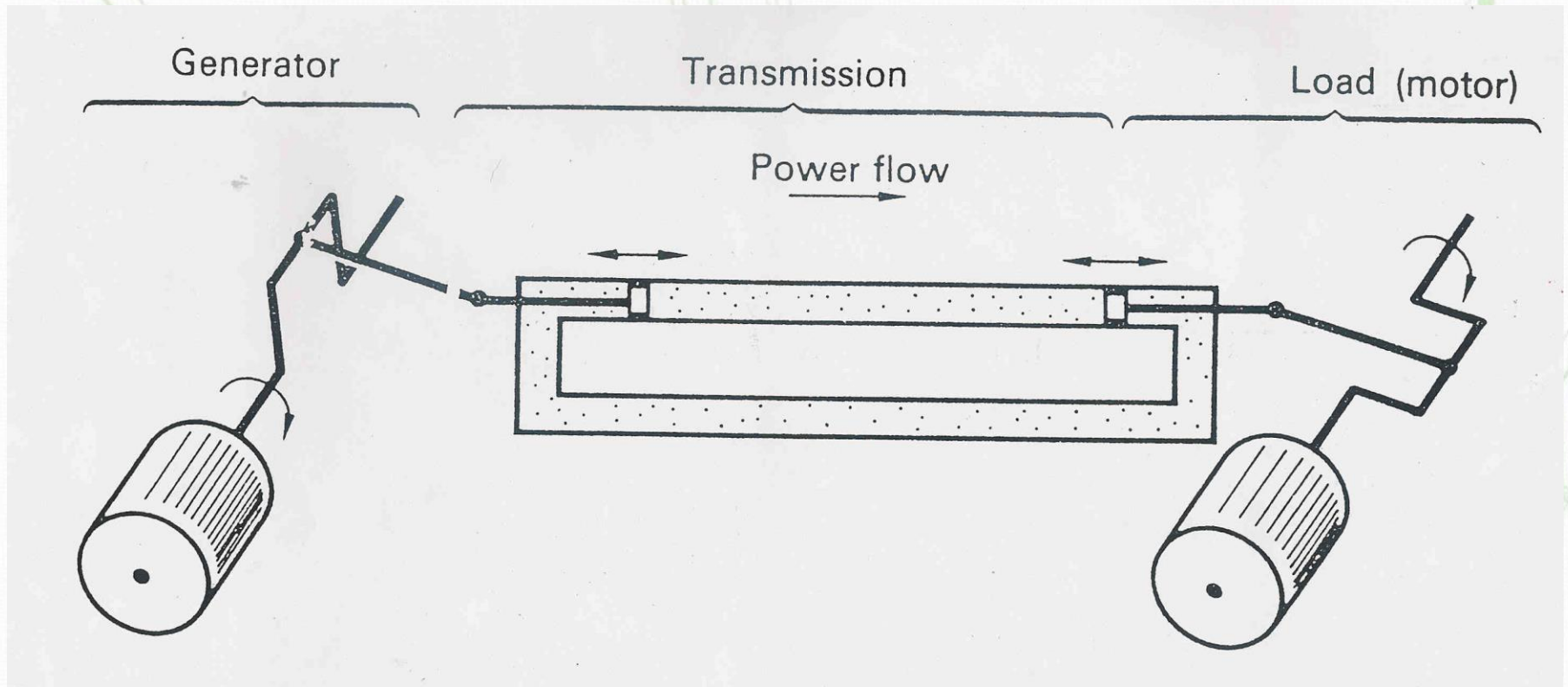
$$p_{3f}(t) = u_a(t)i_a(t) + u_b(t)i_b(t) + u_c(t)i_c(t)$$

$$P_{3f} = 3 \cdot U_f I \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi$$

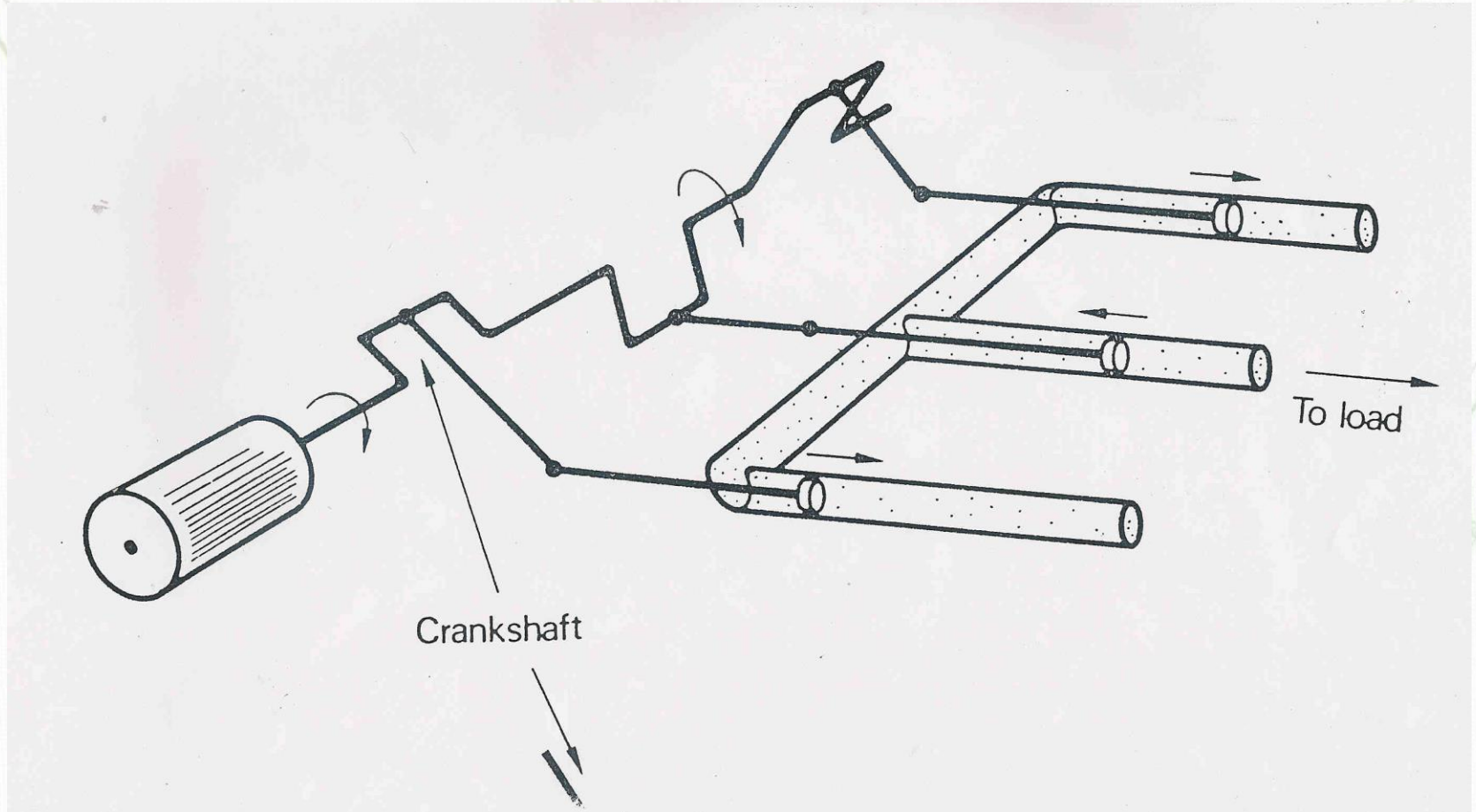
$$Q_{3f} = 3 \cdot U_f I \sin \varphi = \sqrt{3} UI \sin \varphi$$

- Áramfázorok összege = 0, nem szükséges nullavezető; ha van, nem folyik rajta áram
- Feszültség fázorok összege = 0, csillagpontjuk földpotenciálon
- Konstans $P(3f)$, nincs lengő tag – motorokban állandó nyomaték

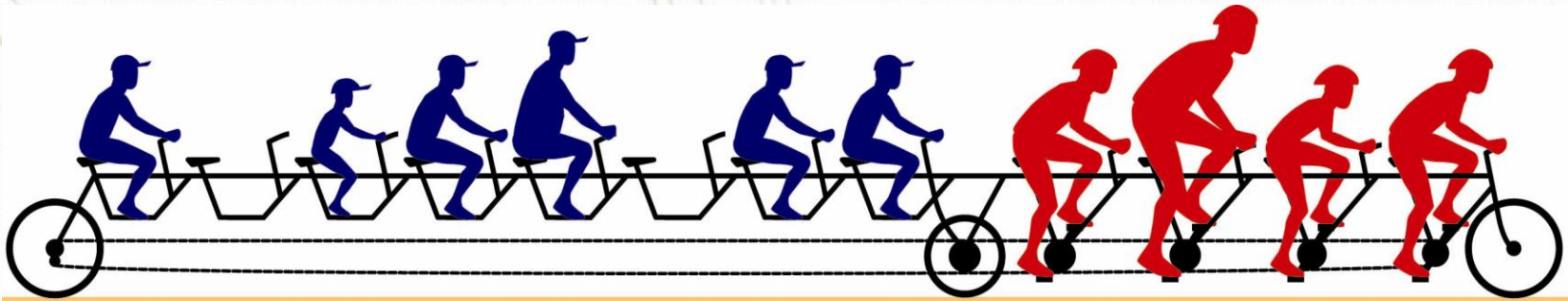
Villamos – hidraulikus analógia



Villamos – hidraulikus analógia

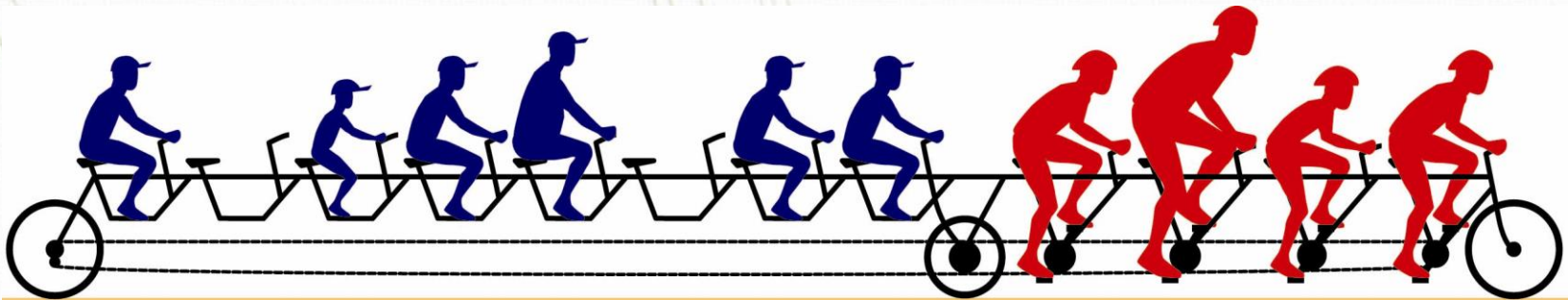


A villamosenergia-rendszer egy lehetséges reprezentációja



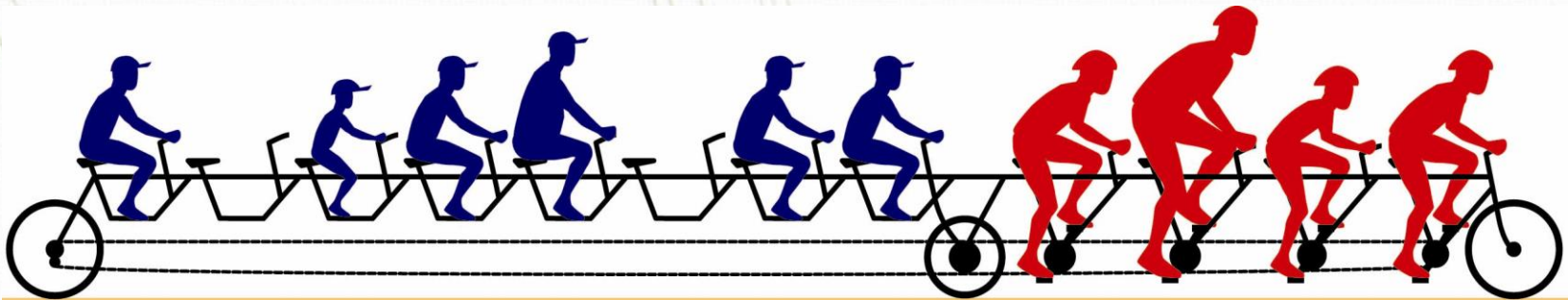
- Minden pillanatban azonos sebességgel haladó tandem kerékpár
- Cél: a kék emberek mozgásban tartása
- Kék emberek = Fogasztók (ipari, lakossági)
- Piros emberek = erőművek (különböző méretűek)

A rendszer egy lehetséges reprezentációja



- Lánc = villamos hálózat
- A láncnak mindig azonos sebességgel kell haladnia (a hálózatnak van egy névleges frekvenciája)
- A lánc felső része azonos terhelés alatt kell legyen (konstans feszültség)
- A lánc alsó része terhelés nélküli (nullavezető)
- A fogaskereken keresztül alakul át az energia (az erőművek transzformátorokon keresztül csatlakoznak a hálózatra)

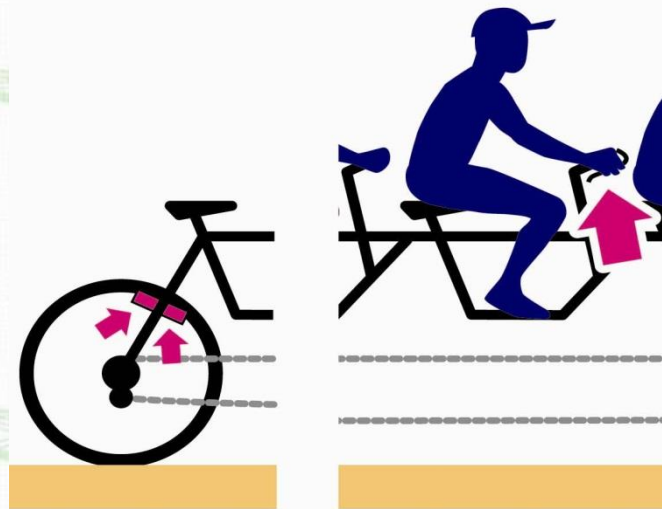
A rendszer egy lehetséges reprezentációja



- A piros kerékpárosok egy része (erőmű) nem tekernek teljes erejükkel. Ők felhasználhatják tartalékaikat, ha:
 - Még egy kék kerékpáros (fogyasztó) felszáll
 - Valamelyik piros kerékpáros (erőmű) kiesik

Fogyasztói alaptípusok

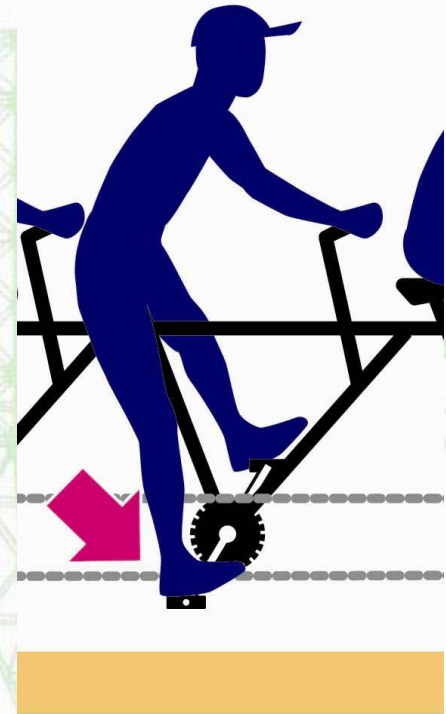
- Kék kerékpáros pedál nélkül, aki a féket húzza = villamos ellenállás
- Példa: izzólámpa, a legtöbb villamos elvű fűtő, melegítő rendszer



- A fékezés a kinetikus energiát hővé alakítja
- Mint az ellenállás, amelyen a villamosenergia hővé alakul)

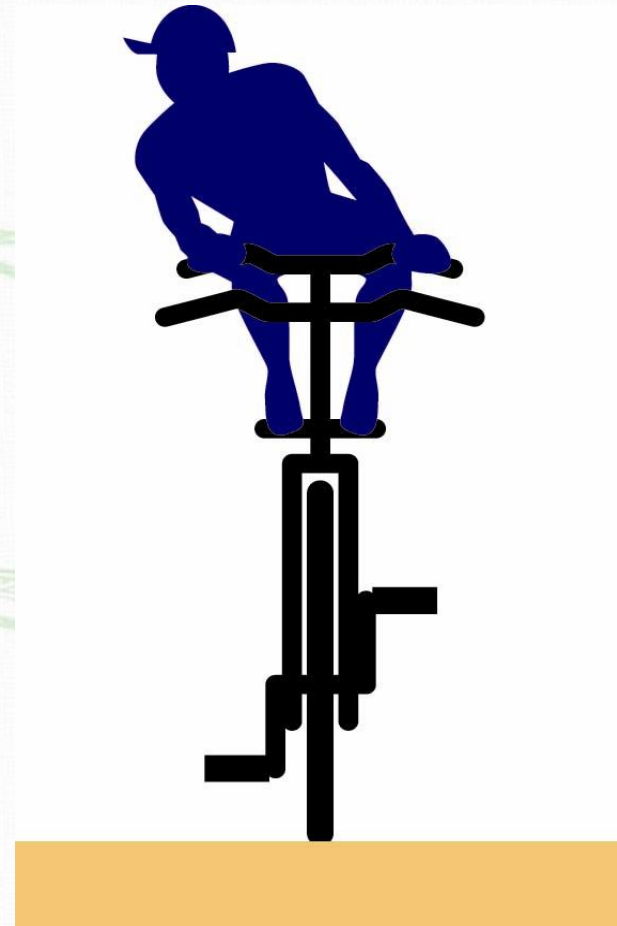
Fogyasztói alaptípusok

- Kék kerékpáros, lábai a forgó pedálon
- Ahelyett, hogy a pedált hajtaná, teljes súlyával a forgás irányával ellentétesen hat -> a pedál hajtja őt
- = Villamos motor
 - Azonos működési elv a generátorokkal
 - Villamos energiát alakítja át forgó mozgási energiává (generátor fordítva)



Fogyasztói alaptípusok

- Kék kerékpáros, valamelyik oldalra dőlve
- = Induktív terhelés
- Az induktív terhelés jelalakja is szinuszos, de fázisban eltol



Induktív terhelés kompenzálása

- A piros kerékpáros az ellenkező oldalra dől, ezzel kiegyensúlyozva a kerékpárt = az erőmű is termel induktív energiát (mely ugyanúgy egy fázisban eltolt szinuszos jel)
- Következtetések:
 - A kompenzálásnak azonnalinak és pontosnak kell lennie
 - Amelyik kerékpáros oldalra dől (hogyan kompenzáljon), nem tud már ugyanolyan kényelmesen tekerni
 - A kerékpárosok felülete megnőtt, így a szembeszél jobban lassítja őket
-> többlet veszteség



Következtetések

- A villamosenergia-rendszer irányítása bonyolult
 - A termelt villamos energiának minden pillanatban meg kell egyeznie az elfogyasztottal (ez önmagában fennáll)
 - A hálózat frekvenciájának és feszültségének állandónak kell maradnia.
- Az egyensúlyt különböző eredetű zavarok befolyásolhatják
- Európában minden ország saját, független hálózati operátorral rendelkezik, mely ezen bonyolult feladatot végrehajtja.

Áttekintés, útravaló

Villamos energetika aktuális és fontos terület – villamos energia nélkül gyakorlatilag elképzelhetetlen az életünk

Szimmetrikus 3f rendszerek számítása

$\approx$

1f váltakozó feszültségű rendszerek számítása

Megállapodások (ha nem mondunk mást):

- Névleges feszültség: vonali
- Névleges teljesítmény: háromfázisú
- Számítások: egyfázisú mennyiségekkel

A faint, light green background image of a high-voltage power line tower and its associated transmission lines, spanning across the slide.

Köszönöm a figyelmet!