

## Tavalyi kérdések voltak!!! (ZH-n és vizsgán)

### Veszprémi

1a ell kérdés

2 Első 6 diából volt kérdés. Az ábrák lényegesek, meg hogy 1/3ra méretezünk, ez azért fontos, mert a szélgenerátornál a legjelentősebb költség az ÁG és az ÁH.

3. A forgódíódás szinkrongenerátor és a forgódíódás forgótranszformátor felrajzolás, az egyes részek megnevezésével. Jelölje meg melyik rész forog.

4. Milyen villamos energia tárolási módokat tanultunk, sorolja fel őket. Az egyes típusok milyen energiában tárolják a villamos energiát (kinetikai, termikus, kémiai, potenciális)

5 Nem emlékszem h lett volna.

### Hunyar

Szélerőmű:

Rajzolja fel a szélerőművekben alkalmazható hajtásokat: (GridCode pdf, 3. diája (4 ábra))

Szélerőművekre, szélerőműparkokra vonatkozó képlet, rövid ismertetéssel, rajzolja fel egy szélerőmű szélsősebesség-kivehető teljesítmény jelleggörbáját (GridCode pdf, 9-15 diasor)

Vízerőmű:

Csoportosítsa a vízerőműveket (osztályozási szempont: energiagazdálkodás, névleges teljesítmény, energiaforrás, esés, vízgazdálkodás, gépészeti villamos jellemzés)

Ismertesse a vízerőművek turbináit (4 féle), röviden jellemezze őket, melyiket milyen esésmagasság esetén alkalmazzuk.

Rajzolja fel a különböző típusú turbinák alkalmazási tartományait a H-Q síkon. Írja fel a vízerőműből kinyerhető teljesítmény képletét, értelmezze az összetevőit röviden. Írja fel a jellemző fordulatszámot az egyes turbinák esetében!

#### **Mi a fink gyűrű?**

Vízterőművi szabályozástechnika eszköze, lapátszöget lehet vele állítani Francis-turbinán.

Rajzoljon fel egy 2,3,4 (ebből mindig csak kettőt kellett) gépből álló szivattyús tározó működési elvét, mi a különbség közöttük. (vizUJ.pdf 19. diájára kérdez rá) rajzolja be a víz áramlásának irányát tározó leürítésekor és a tározó feltöltésekor.

*ehhez insturkció:*

**2 gépes = 1db motor-generátor és 1 db szivattyú-turbina**, tehát egy-egy gép tud két-két funkciót. Előnye, hogy két gépből álló berendezés, tehát olcsó, de irányváltás szükséges a termelői üzemmódból fogyasztói üzemmódba való átálláshoz. A nagy tehetetlenségi nyomatékok miatt ez a művelet 8-10 percet igénybe vehet. Kaplan vagy Francis-turbinát kér, a többi fizikailag alkalmatlan a kettős üzemre. Jellemzően az USA-ban alkalmazzák.

**3 gépes = 1db motor-generátor, 1db turbina, 1db szivattyú** - előnye, hogy többféle vízgép alkalmazható (pl Francis-szivattyú és Pelton-turbina) A három gép tengelykapcsolatban áll egymással, az éppen nem működő egységet (szivattyút vagy turbinát) szelepekkel vagy csapokkal leválasztják és sűrített levegőben forgatják.

A 3 gépes rendszer speciális üzemállapota a részleges vagy teljes hidraulikai rövidzár: köráram jön létre a turbina és a szivattyú között. Termelői/fogyasztói átállásnál alkalmazható, illetve a teljesítményszabályozás eszköze lehet.

**IRÁNYVÁLTÁS NÉLKÜLI (TEHÁT GYORS) ÁTÁLLÁS TERMELŐRŐL FOGYASZTÓRA!** Jellemzően európai elrendezés

**4 gépes rendszer** - külön motor-szivattyú és generátor-turbina egységekből áll (két tengelyes elrendezés)

# Fenntartható energetika villamos rendszerei (VIVEMA02)

## Összefoglaló kérdések - 1. rész (Veszprémi Károly)

### 1. Hálózatoldali aktív áramirányító

- a. Felépítése, működése, tulajdonságai.
- b. Vezérlése (ISZM)
- c. Hálózatorientált áramvektor szabályozása

### 2. Kétoldalról táplált aszinkrongép

- a. Felépítése.
- b. Teljesítmények, teljesítmény-áramlás
- c. Tulajdonságai
- d. Alkalmazása szélgenerátorokban
- e. Vektoros leírása
- f. Állandósult üzeme alapharmonikusokkal
- g. Mezőorientált áramvektor szabályozása

### 3. Szinkrongépek kefenélküli gerjesztése

- a. A kétféle megvalósítás, tulajdonságaik, korlátaik
- b. A diódás híd üzemi tartományai, alapösszefüggései
- c. A kefenélküli forgódiodás gerjesztő optimalizálása.

### 4. Az energiarendszerben használható energiatárolási módok

- a. Motiváció, elvárások, elérhető előnyök
- b. Összehasonlítási szempontok
- c. A használható módszerek áttekintése.

### 5. Az áramirányítós szinkrongép alapjai

- a. Felépítés, kapcsolás, működés.
- b. Teljesítményviszonyok (meddő is).
- c. Alapösszefüggések, helyettesítő vázlat, nyomatékképzés.
- d. Önvezérlés, működési tartományok.
- e. Gázturbinás szinkrongenerátor egység indítása.

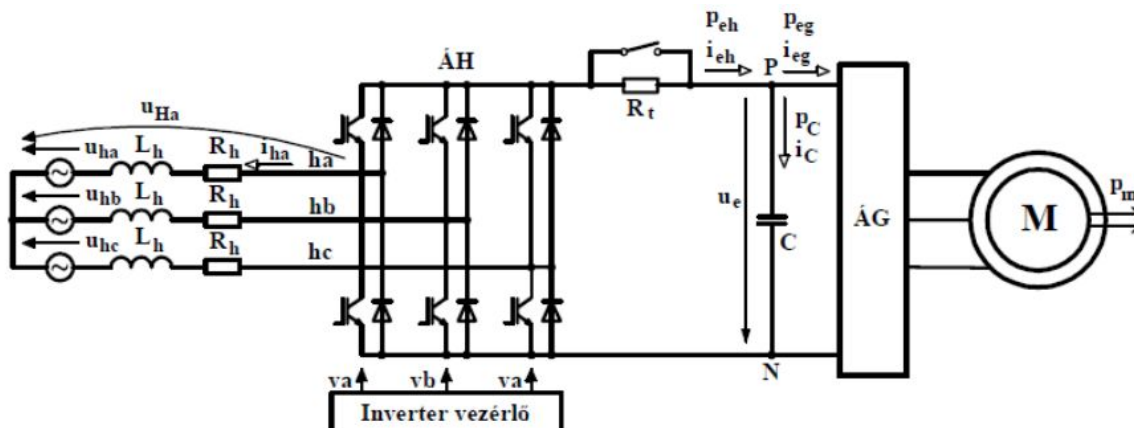
### Vízerőművek

- 1. Vízerőművek típusai esésmagasság szerint
- 2. Turbina típusok, alkalmazási területek
- 3. Vízerőművekből kinyerhető teljesítmény, jellemző fordulatszám
- 4. Nagyteljesítményű vízerőművek generátorainak jellemzői
- 5. Víz turbinák klasszikus fordulatszám szabályozása (ábrák)
- 6. Korszerű mikroprocesszoros fordulatszám szabályozás alapelvei
- 7. Stabilitási kérdések, megszaladás
- 8. Szivattyús-tározós vízerőművek (SZET) alapelvei, 4 gépes rendszer
- 10. Milyen tényezőktől függ a turbina/szivattyú hatásfoka?

## 1. Hálózatoldali aktív áramirányító

### a. Felépítése, működése, tulajdonságai.

Feszültséginverter kapcsolású hálózati áramirányító:



Az ÁH feszültséginverter erősáramú szűrőkön keresztül csatlakozik a hálózathoz. Veszteség mentes energia áramlást feltételezünk.

$$P_{h1} = \frac{3}{2} U_h I_{h1} \cos \varphi_{h1} = P_e = U_e I_{ek} = P_m = M_k W.$$

$U_h$  a szinuszos hálózati fázisfeszültség csúcsértéke,  $I_{h1}$  az alapharmonikus hálózati áram csúcsértéke,  $U_e$  a sima egyenfeszültség,

$I_{ek} = I_{lh} = I_{lk}$  az egyenáram középértéke,  $M_k$  a nyomaték középértéke  $W$  az állandó szögsebesség.

**$P_m > 0$  motoros hajtáskor**  $I_{ek} > 0$  az egyenáram középértéke és  $I_{h1p} = I_{h1} \cosh 1 > 0$  a hálózati áram wattos összetevője.

**$P_m < 0$  generátoros fékezéskor**  $I_{ek} < 0$  és  $I_{h1p} < 0$ . Adott teljesítményhez akkor tartozik a **legkisebb  $I_{h1}$  hálózati áram**, ha

$\cos \varphi_{h1} = \pm 1$  a fázistényező.

### b. Vezérlése (ISZM)

szabályozás **alapfeladata az  $u_e$  egyenfeszültség szabályozása.**

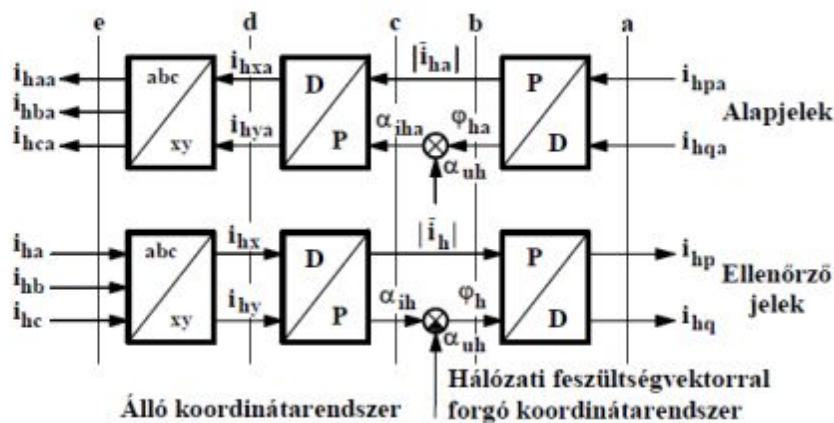
**Cél  $u_e = U_e = \text{const.}$ ,  $du_e/dt = 0$ ,  $i_c = 0$ ,  $p_c = 0$ , ami  $p_{eh} = p_{eg}$ -vel biztosítható** ( $p_{eg}$  közelítőleg megegyezik a

$p_m = m_w$  mechanikai teljesítménnyel). Mivel mind a  $p_{eh}$  hálózatoldali, mind a  $p_{eg}$  géppoldali **egyenköri teljesítmény lüktet** így az egyenköri teljesítmény **egyensúly pontosan csak középértékekre biztosítható**:  $p_{ehk} = p_{egk}$ ,  $p_{ck} = 0$ . E szerint a cél megvalósítható **egyenfeszültség szabályozásnak alárendelt  $p_h$  hálózati teljesítmény szabályozással**. Ideális hálózatot feltételezve a  $p_h$  teljesítmény szabályozás **visszavezethető  $i_h$  hálózati áramvektor szabályozásra**.

c. Hálózatorientált áramvektor szabályozása

i. A szabályozás koordináta rendszerei, megvalósítási formái.

$$i_{hpa} = \frac{2p_{ha}}{3U_h}, \quad i_{hqa} = \frac{2q_{ha}}{3U_h}. \quad (7.8.a,b)$$



7.5. ábra: Koordináta transzformációs lánc.

a metszet: hálózati feszültségvektorral forgó kr. Descartes koordináták,

b metszet: hálózati feszültségvektorral forgó kr. polár koordináták,

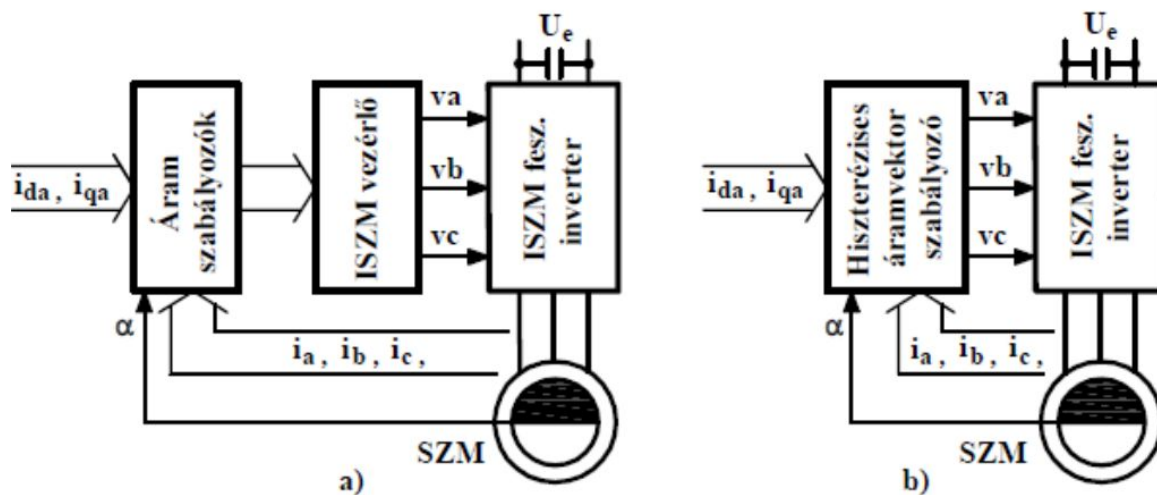
c metszet: álló kr. polár koordináták,

d metszet: álló kr. Descartes koordináták,

e metszet: álló kr. fázismennyiségek.

A gyakorlatban a,-t és e,-t használják csak a, esetben két trafó, e, esetben egy trafó kell.

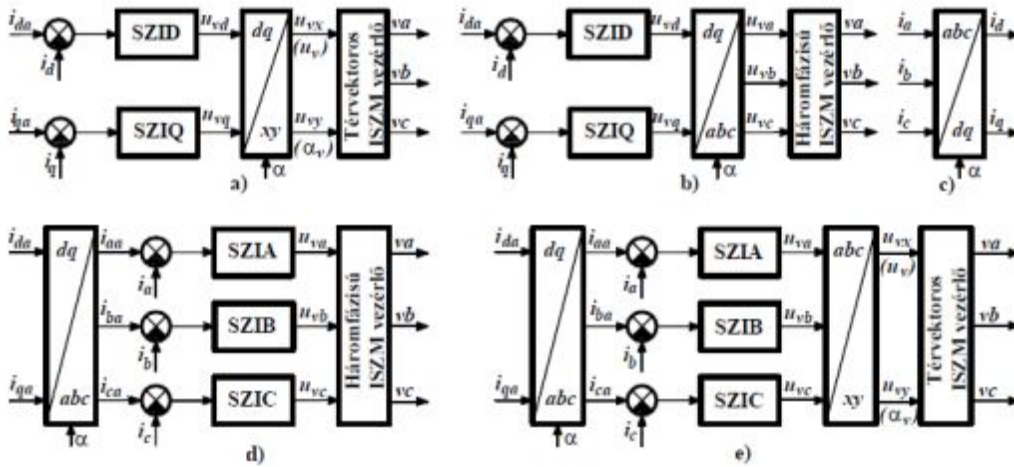
ii. Az áramvektor szabályozás két alaptípusa.



4.11. ábra: Áramvektor szabályozási módok. a. ISZM vezérlős, b. Hiszterézises.

**Kétféle áramvektor szabályozás létezik:** az ISZM vezérlős és a hiszterézises. Az ISZM vezérlős áramvektor szabályozásokban (4.11.a. ábra) az ISZM feszültséginverter rendelkezik egy **ISZM vezérlővel** és az áramszabályozó ezen keresztül, közvetetten avatkozik be. A hiszterézises áramvektor szabályozók (4.11.b. ábra) **közvetlenül vezérlik az ISZM feszültséginvertert**.

### iii. ISZM vezérlős áramvektor szabályozások



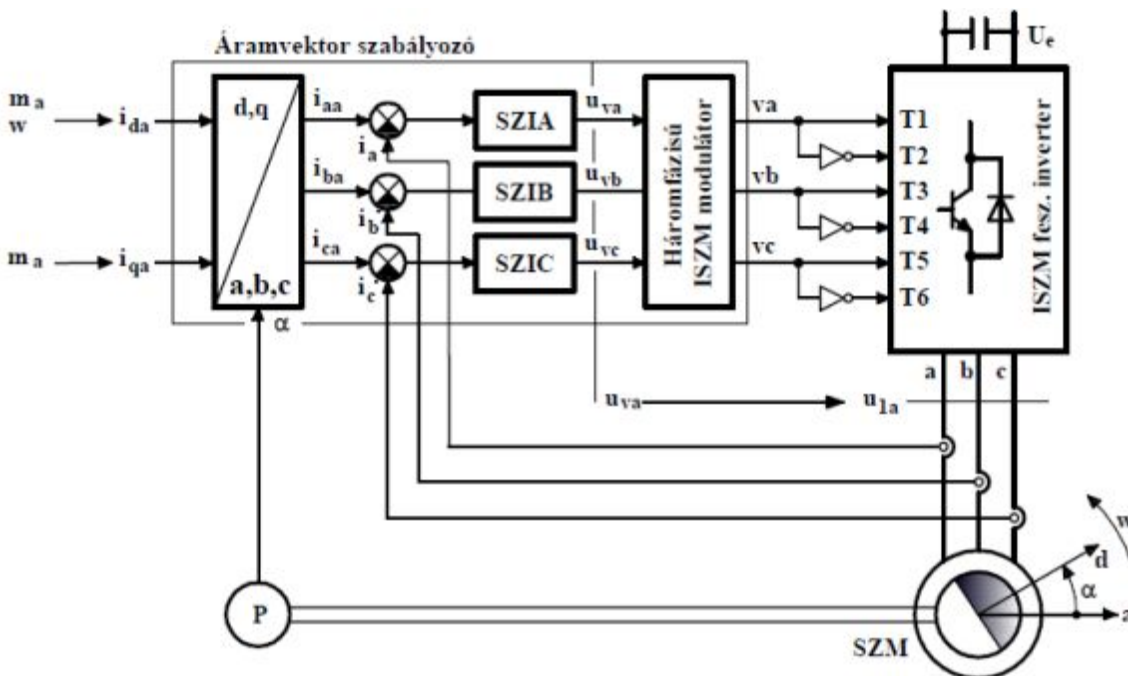
4.12. ábra: ISZM vezérlős áramvektor szabályozások blokkvázlatai.  
a,b,c. Szabályozók dq koordinátákban, d,e. Szabályozók abc koordinátákban.

Az ISZM vezérlős áramvektor szabályozásnak (4.11.a. ábra) több változata létezik, attól függően, hogy **az  $i$  áramvektor melyik koordináta-rendszerbeli komponensei a szabályozott jellemzők, és hogy milyen bemenő jelekkel működik az ISZM vezérlő.** Ha az SZI áramszabályozók a dq komponenseket szabályozzák, akkor a 4.12.a., b. ábráknak megfelelő két változat, ha az abc komponenseket (fázisáramokat) szabályozzák, akkor a 4.12.d., e. ábráknak megfelelő két változat lehetséges. **Az SZI áramszabályozók a gyakorlatban PI típusúak.**

### iv. Térvektoros ISZM

A c. ábra az id és iq komponensek előállítását szemlélteti. A v indexű vezérlőjelek az a. és e. ábrákban **térvektoros ISZM vezérlőt** (space vector control-t), a b. és d. ábrákban **háromfázisú ISZM vezérlőt** (ISZM modulátort) működtetnek. Látható, hogy minden esetben szükség van koordináta transzformációkra.

### v. Áramvektor szabályozás abc fázismennyiségekkel, 3 fázisú ISZM modulátorral.



4.16. ábra: Áramvektor szabályozás abc fázismennyiségekkel, háromfázisú ISZM modulátorral.

A SZIA, SZIB és SZIC általában **PI típusú fázis áramszabályozók** kimenő jelei az uva, uvb és uvc fázis vezérlő jelek (moduláló jelek). Ezekből állítja elő a háromfázisú ISZM modulátor a kétszintű va, vb, vc inverter

vezérlő jeleket. A háromfázisú ISZM modulátor **3 darab egyfázisú ISZM modulátorból áll**, de a modulátorok u háromszög jele (vivő jele) közös.

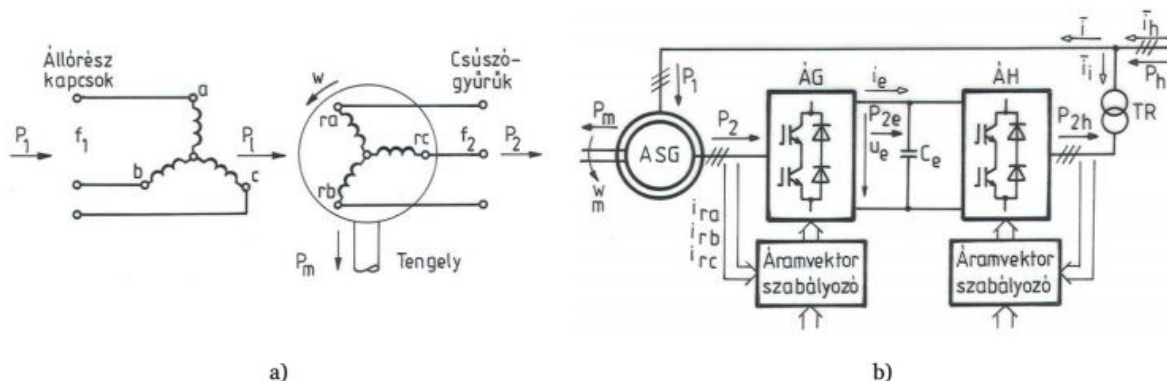
#### *vi. Járulékos szolgáltatások (kompenzálások)*

Azok a szabályozott villamos hajtások, amelyek feszültséginverter kapcsolású hálózati áramirányítóval rendelkeznek (ilyenek a szélgenerátorok is) az alapfeladatokon kívül **hatásos teljesítményt nem igénylő járulékos feladatokra is képesek**. Ezek a meddő kompenzálás, az aszimmetria kompenzálás és a felharmonikus kompenzálás. Ráadásul a járulékos feladatokat a korszerű szélgenerátorok szélcsendes időben is el tudják látni. A járulékos feladatok az ÁH hálózati áramirányító és a C egyenköri kondenzátor méretezését befolyásolják.

## 2. Kétoldalról táplált aszinkrongép

### a. Felépítése.

#### Háromfázisú tekercselt forgórészű, csúszógyűrűs aszinkrongép és feszültséginverteres táplálás



A kétoldalról táplált gép korszerű változatában (6.1.b. ábra) **az állórészt közvetlenül a hálózatra kapcsolják** ( $f_1=f_h=50\text{Hz}$ ,  $W_1=2f_1/314\text{s}$ ), **a forgórészhez pedig egy közbülső egyenáramú körös feszültséginverter csatlakozik**. Mind az ÁG gépoldali, mind az ÁH hálózatoldali áramirányító kétszintű feszültséginverter kapcsolású.

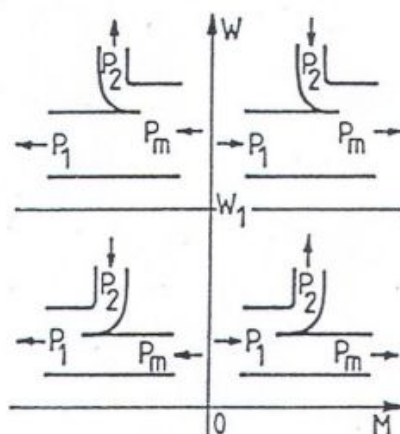
### b. Teljesítmények, teljesítmény-áramlás

A **veszteségektől eltekintve**

$$P_r = MW_r = P_2 = P_{2e} = U_e I_{ek} = P_{2h},$$

$$P_h = P_1 - P_{2h} = MW_1 - MW_r = MW = P_m.$$

**a teljesítmény áramlási irányok  $W_r$  és  $M$  függvényei.** A 6.1.b. ábra szerinti megoldás **kétirányú teljesítmény áramlásra,  $P_2 > 0$ -ra és  $P_2 < 0$  képes**, mivel  $U_e = \text{const.} > 0$ , de  $I_{ek} > 0$  és  $I_{ek} < 0$  is lehet. Szinkron fordulatszám ( $w_1$ ) feletti hajtáshoz és szinkron fordulatszám alatti fékezéshez a forgórészbe ( $P_2$ ) teljesítményt kell betáplálni, szinkron fordulatszám alatti hajtáshoz és feletti fékezéshez a forgórészből teljesítményt veszünk ki.



6.2. ábra: Teljesítmények áramlása.

### c. Tulajdonságai

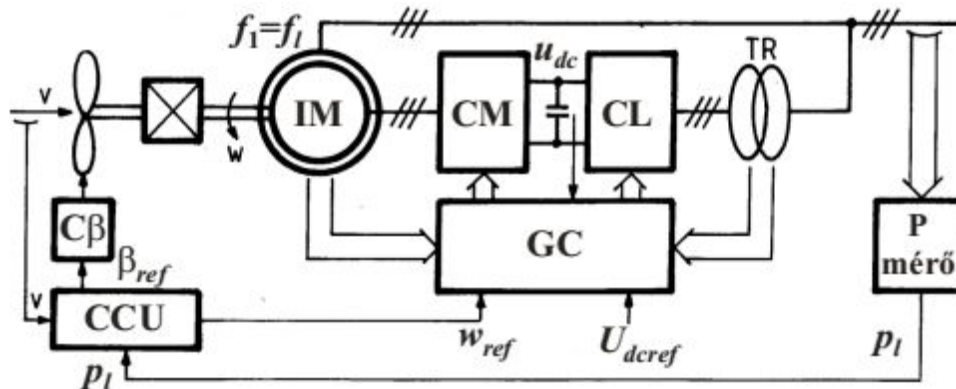
A kétoldalról táplált csúszógyűrűs aszinkron szélgenerátort **nagy teljesítményeken** gyakran alkalmazzák, mert:



- A  $P_2 = sP_1$  teljesítmény áramlik át az áramirányítókon. ( $P_2$  a rotorköri teljesítmény,  $P_1$  a légrés teljesítmény)
- A sebesség változtatás szokásos tartománya  $\pm 33\%$  a szinkronpont körül az áramirányítók típusjelölésével:  $Pn/3$ .
- CL áramvektor szabályozása szinuszos hálózati áramot, egységnyi teljesítmény tényezővel képes produkálni.
- CM áramvektor szabályozása egységnyi teljesítmény tényezőjű állórész áramot szolgáltat.
- Sőt, az eredő hálózati áram akár kapacitív is lehet.
- Mind motoros hajtás, mind generátoros fékezés is lehetséges.

#### d. Alkalmazása szélgenerátorokban

Kétoldalról táplált generátorként a nagy teljesítményű változtatható fordulatszámú **szélerőművekben** elsősorban háromfázisú csúszógyűrűs aszinkrongépeket, kísérleti jelleggel kefenélküli kétoldalról táplált háromfázisú gépeket alkalmaznak. A következőkben részletesen csak a csúszógyűrűs aszinkrongépes változatot tárgyaljuk, annak is elsősorban a mezőorientált áramvektor szabályozását. A 2.4.1. ábrának megfelelően az állórészt közvetlenül a hálózatra kapcsolják ( $f_1 = f_l = 50\text{Hz}$ ), a forgórészt pedig frekvenciaváltón keresztül csatlakoztatják a hálózathoz. A szögsebesség változtatás szokásos tartománya  $33\%$  a szinkron szögsebességre vonatkoztatva. **Ez a  $-1/3 \leq S \leq 1/3$  szliptartománynak megfelelően kb.  $(1/3)P_n$  névleges teljesítményű forgórészköri frekvenciaváltót igényel, ami komoly előnyt jelent az egyoldalú tápláláshoz képest.** Az üzemi fordulatszám tartományon belül motoros hajtás és generátoros fékezés egyaránt lehetséges, mivel a CM és CL áramirányítók kétirányú teljesítményáramlásra képesek.



2.4.1. ábra. A kétoldalról táplált aszinkron szélgenerátor blokkvázlata.

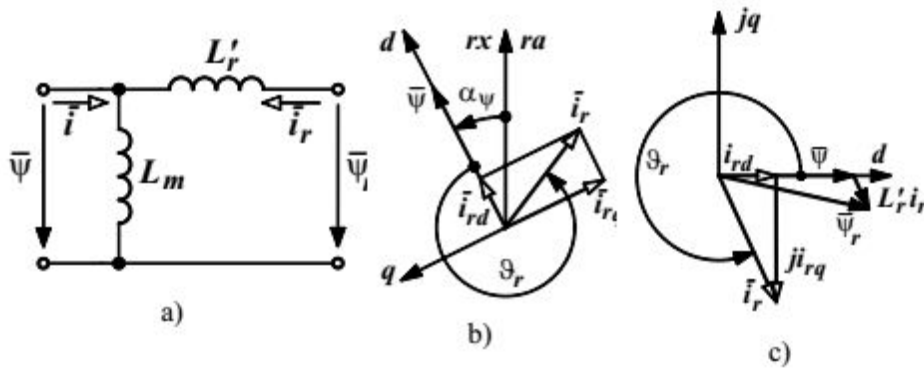
#### e. Vektoros leírása

Ideális  $\bar{u} = \bar{u}_\ell = \bar{U}_\ell e^{j\omega_\ell t}$  hálózati feszültséget ( $U = \text{const.}$  amplitúdót és  $\omega = \omega_l = 2\pi f = \text{const.}$  körfrekvenciát) feltételezve és **az állórész tekercs  $R$  ellenállását elhanyagolva** az állórész feszültséggenerátoros táplálása gyakorlatilag megszabja az állórész tekercs fluxusát is:

$$\bar{\psi} = \bar{\Psi} e^{j\omega_\ell t}, \quad \bar{\Psi} = \bar{U}_\ell / (j\omega_\ell).$$

A CM gépdali feszültség inverterrel közvetlenül a forgórész ir árama, közvetetten az állórész  $i$  árama szabályozható. A forgórész ir áramvektorát a  $\psi$  **állórész fluxusvektor** mezőhöz orientáltan célszerű szabályozni **(ez van kényszerítve)**.





2.1.4. ábra. Csúszógyűrűs forgórészű, kétoldalról táplált aszinkron gép.  
a) Helyettesítő vázlat (redukált), b) Vektorábra forgórész koordinátarendszerben,  
c) Vektorábra mező koordinátarendszerben.

## f. Állandósult üzeme alapharmonikusokkal

### 2.4.1.2. Állandósult üzem alapharmonikusokkal

A következőkben a kétoldalról táplált gép tulajdonságait alapharmonikusokkal (1 indexek), állandósult üzemben vizsgáljuk. Ekkor d-q mező koordinátarendszerben álló vektorokat kapunk. Az állórész  $\bar{\Psi}_1$  fluxusvektora és  $\bar{U}_1$  feszültségvektora  $R=0$  közelítéssel a (2.4.2a,c) összefüggéseknek megfelelően:  $\bar{\Psi}_1 = \Psi = U_\ell / \omega_\ell$ ,  $\bar{U}_1 = jU_\ell$ . Az állórész és a forgórész áramvektorok:

$$\bar{I}_1 = I_{1d} + jI_{1q} = I_1 e^{j\theta_1}, \quad \bar{I}_{r1} = I_{r1d} + jI_{r1q} = I_{r1} e^{j\theta_{r1}}. \quad (2.4.9a,b)$$

Az állórész áramvektort az  $\bar{I}_{m1} = \bar{I}_1 + \bar{I}_{r1} = \Psi / L_m$  csomóponti egyenletből kifejezve:

$$\bar{I}_1 = \bar{I}_{m1} - \bar{I}_{r1} = \Psi / L_m - I_{r1} e^{j\theta_{r1}}. \quad (2.4.10)$$

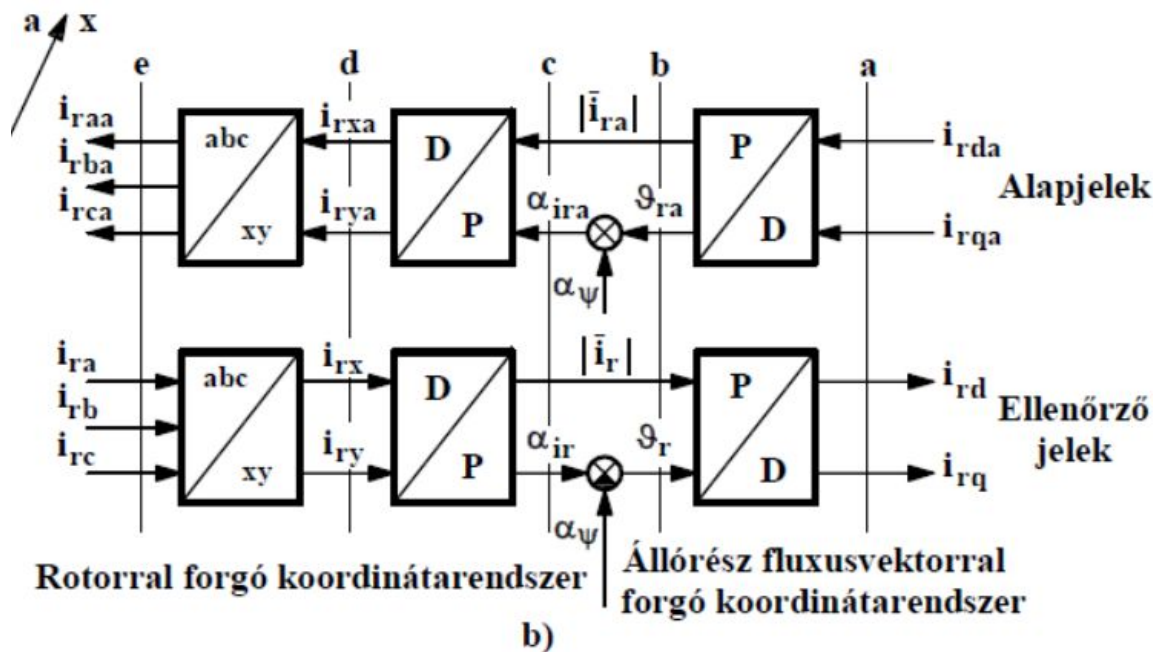
A  $\Psi = \text{const.}$  és  $I_{r1} = \text{const.}$  feltételezéssel kapott  $\bar{I}_1$  **áramvektor diagram körpályát ír le**  $\theta_{r1}$  változtatásakor (2.4.3. ábra). A K jelű kör középpontját az  $\bar{I}_{m1} = \Psi / L_m$  mágnesező áramvektor határozza meg, sugara a forgórész áramvektor  $I_{r1}$  amplitúdója. A forgórész fluxusvektor  $\bar{\Psi}_{r1}$  komplex amplitúdója is körpályán mozog ugyanekkor:

$$\bar{\Psi}_{r1} = \bar{\Psi}_1 + L_r' \bar{I}_{r1} = \Psi + L_r' I_{r1} e^{j\theta_{r1}}. \quad (2.4.11)$$

A K jelű kör középpontja  $\Psi$ , sugara  $L_r' I_{r1}$ . Az  $\bar{I}_1$  állórész áram K jelű áramvektor diagramja a hengeres forgórészű szinkron gép állandó gerjesztés melletti áramvektor diagramjához hasonló, **az  $I_{r1}$  forgórész áram veszi át a gerjesztőáram szerepét.**

## g. Mezőorientált áramvektor szabályozása

### i. A szabályozás koordináta rendszerei, megvalósítási formái



A koordináta transzformációs lánc **a,b,c,d,e** metszeteinek megfelelően kétféle koordinátarendszerben ötféle koordinátával lehetséges az áramvektor szabályozás:

- a** metszet: **állórészmezővel** forgó kr Descartes koordináták,
- b** metszet: **állórészmezővel** forgó kr. polár koordináták,
- c** metszet: **rotorral forgó kr.** polár koordináták,
- d** metszet: **rotorral** forgó kr. Descartes koordináták,
- e** metszet: **rotorral** forgó kr. fázismennyiségek.

### ii. Az állórész fluxus lüktetése

Kétoldalról táplált aszinkrongép esetén az állórész fluxus amplitúdójának nem csillapodó, sőt erősödő lengése mutatkozik.

**A jelenség fizikai oka; A kétoldalról táplálás kétoldali kényszert jelent:**

- Az állórészen az állandó hálózati feszültség jelent egy kényszert (ami közelítőleg fluxus kényszer is).
- A forgórészen a gyors áram szabályozások áramkényszert jelentenek (az állórész fluxust befolyásoló fluxus képzőáramra is).

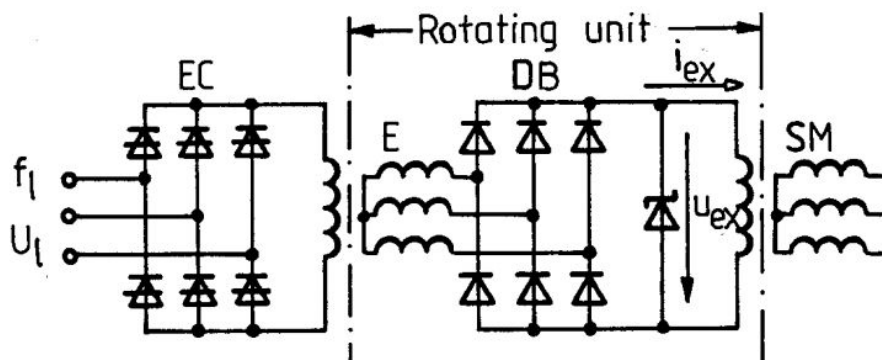
Fizikailag ez a kétoldali kényszer magyarázza az állórész fluxus amplitúdó nem csillapodó lüktetését.

Kalickás forgórészű aszinkrongépnél nincs kettős kényszer, ezért nem lüktet a szabályozott rotor fluxus amplitúdója.

Ráadásul ott a rövidrezárt forgórész csillapító hatása is érvényesül. **Ez a csillapító hatás veszik el a forgórész áramgenerátoros táplálásával**, ami fizikailag szakadt forgórészszel egyenértékű.

### 3. Szinkrongépek kefenélküli gerjesztése

#### a. A kétféle megvalósítás, tulajdonságaik, korlátaik

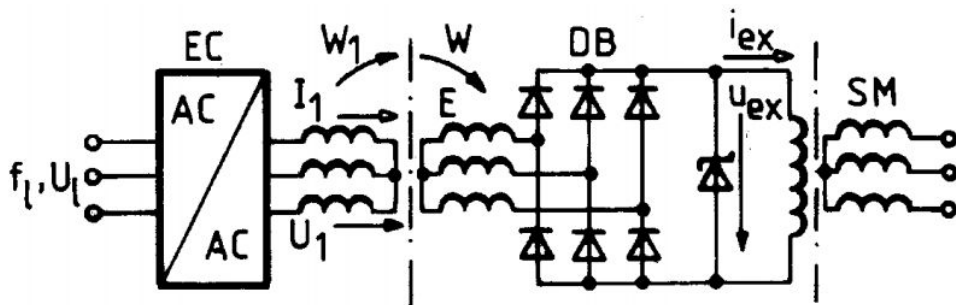


1.4.1. ábra. Forgódiódás szinkrongenerátor.

Kifordított szinkrongenerátor:

(Mindkét esetben) az E gerjesztő-gép **háromfázisú forgórészéhez** csatlakozó DB diódás egyenirányító gerjeszti (forgódiódás) az SM szinkrongépet. Mivel a DB diódás híd együtt forog a szinkrongép forgórészével, így a gerjesztő-tekerccsel közvetlenül, **csúszógyűrűk nélkül összeköthető.**

**Ez az un. kefenélküli, forgódiódás gerjesztés.** A diódás hídból adódóan mindkét kapcsolásra jellemző, hogy **forszírozni csak a gerjesztő-áram növekedését lehet (U<sub>ex</sub> növelésével), csökkenését nem (a diódás híd miatt).**



1.4.2. ábra. Forgódiódás forgótranszformátor.

**Forgótranszformátort** (tekerccselt forgórészű aszinkrongép) egy **háromfázisú szaggató** táplálja. A háromfázisú szaggató felépíthető tirisztor párokból, vagy IGBT tranzisztorokból. A gerjesztő-áramot a szaggató kimeneti feszültségének **U<sub>1</sub> alapharmonikusa szabja meg**, ami tirisztoros szaggatónál f = 50 Hz frekvenciájú gyújtásvezérléssel, tranzisztorosnál nagyfrekvenciás ISZM vezérléssel változtatható.

#### b. A diódás híd üzemi tartományai, alapösszefüggései

- Az U<sub>1</sub> feszültség egyben a gerjesztő-gép f<sub>1</sub>=f frekvenciájú, illetve  $\omega_1 = 2\pi f_1$  körfrekvenciájú tápfeszültség alapharmonikusának amplitúdója.
- W<sub>1</sub>=w<sub>1</sub>/p a mező szög-sebessége a p póluspárú gerjesztő-gépben,
- W a szinkrongép és **a gerjesztő-gép forgórészének a közös szögsebessége**, S (W<sub>1</sub> W) / 1 a gerjesztő-gép szlipje
- A gerjesztő-gép **állórész ellenállását elhanyagolva** a kapcsolófeszültség megegyezik az indukált

feszültséggel:

$$U_1 = U_{i1} = \omega_1 \Psi_1.$$

Ha az alapharmonikus állórész feszültség U<sub>1</sub>=állandó, akkor az E gerjesztő-gépben  $\Psi_1 = U_1 / \omega_1 =$

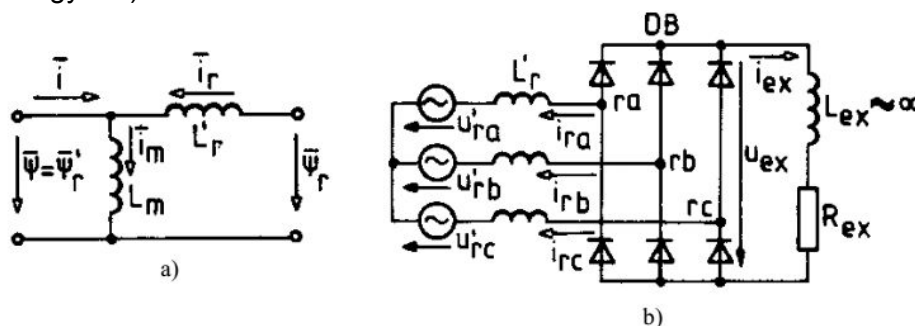
állandó az állórész tekercs-fluxus, illetve állandó a  $\Psi_r' = \hat{a}\Psi_1$  rotorköri tranziens tekercsfluxus alapharmonikusa (á a forgótranszformátor áttétele álló állapotban). **Ez a fluxus a gerjesztő-gép**

**háromfázisú forgórészében álló állapotban**  $U_{ro} = \omega_1 \Psi_r' = \hat{a}U_{i1}$  **amplitúdójú és f1**

**frekvenciájú, forgó állapotban**  $U_r' = \omega_r \Psi_r' = S\hat{a}U_{i1} = S U_{ro}$  **amplitúdójú és r=S1**

**körfrekvenciájú alapharmonikus feszültséget indukál.** A következőkben  $\omega_r = S\omega_1$  -gyel számolunk, ekkor a gerjesztő-gép rotorra redukált fluxusos, Park-vektoros helyettesítő vázlatát az 1.4.3a ábra mutatja.

- A gerjesztő-gépben a **mezőt** az SM szinkrongép és **az E gerjesztő-gép közös W szögsebességével szemben célszerű forgatni, hogy  $S \geq 1$  legyen.** Ahhoz, hogy ez mindkét forgásirányról teljesüljön, a forgásiránytól függően E állórészének a táplálásánál fázissorrendet kell váltani. Mivel egyszerre kell fázissorrendet váltani a szinkrongépben és a gerjesztő-gépben, így ezt egy **közös fázissorrend logika** vezérelheti. A gerjesztő-gép forgórészének **feszültség igénybevételére** tekintettel célszerű a maximális szlipet  **$S_{max} \approx 2$**  -re korlátozni. Ha a szinkrongép  $f = 50\text{Hz}$ -nél nagyobb frekvenciával is üzemel, akkor szokás a gerjesztő-gépet a szinkrongépnél kisebb pólusszámúra választani (szinkron fordulatszám nagyobb).



1.4.3. ábra. Forgótranszformátoros gerjesztő helyettesítő vázlatai:  
a) gerjesztőgép fluxusos helyettesítő vázlata, b) gerjesztő egység helyettesítő vázlata.

### c. A kefenélküli forgódiódás gerjesztő optimalizálása.

#### i. A szlip hatás a munkapontra

**A szlip változása gyakorlatilag a diódás híd tápláló feszültségének és frekvenciájának változását eredményezi. Az alapegyenleteket kiegészítjük az egyenköri (gerjesztő-köri) teljesítmény kifejezésével, mert az optimalizálás tárgya a teljesítmény kihasználtság** lesz. A  $P_{ex}$  gerjesztő-teljesítmény állandósult állapotban a feszültség és az áram középértékéből számítható:

$$P_{ex} = U_{ex} I_{ex} = \frac{3}{\pi} S P_{exo} \sin \delta \sin(2\alpha + \delta); \quad P_{exo} = \frac{3}{4} \frac{U_{ro}^2}{\omega_1 L_r'}$$

**Adott  $R_{ex} = \text{const.}$ -nál az S szlip egyértelműen megszabja az  $\alpha + \delta$  kialvási szöget.** E két mennyiség között monoton kapcsolat van, így a legnagyobb szlipnél a legnagyobb, a legkisebb szlipnél a legkisebb a kialvási szög.

#### ii. Optimalizálás egy adott szlipre

Csak egy adott szlipre érhető el optimum. [Si]  
A gerjesztő köri ellenállást ideálisra kell választani:

$$R_{ex} = S_i \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \omega_1 L'_r$$

**Ez az illesztési szabály a szinkrongép gerjesztő-körének és a gerjesztő-gépnek a komplex tervezésével betartható.**

**Az optimalizált munkapont mennyiségei** ( $U_{exi}$ ,  $I_{exi}$ ,  $P_{exi}$ )  $\alpha=15^\circ$  és  $\kappa=\alpha+\delta=75^\circ$  helyettesítéssel kiszámolhatók.

## Az energiarendszerben használható energiatárolási módok

### *a. Motiváció, elvárások, elérhető előnyök*

#### Motiváció, előnyök:

- az energiatermelés és az energia fogyasztás szétcsatolása
- több lehetőség a megújuló energiaforrások alkalmazása
  - különösen a szélenergia felhasználásánál
- energiarendszer nagyobb teljesítmény egyensúlya
  - **támogatást és lökést adna**

#### Elvárások:

- alacsony költségek: beruházás, üzemeltetés, karbantartás
- magas eredő hatásfok
- felügyelet nélküliség
- üzembiztonság
- alacsony vagy 0 környezeti hatás

### *b. Összehasonlítási szempontok*

- Az árat **fajlagosan** érdemes vizsgálni. Vagy teljesítményre, vagy energiára lehet vetíteni.
- A hatásfok szempontjából az **eredő hatásfok a legérdekesebb**. Célszerű azonban az energiatárolás-energiavisszanyerés folyamatának minden lépcsőjét elemezni a hatásfok szempontjából (kisütési hatásfok, tárolási hatásfok, veszteség, stb).
- A **tárolási időtartamot** a technológia megköti, az átfogandó spektrum pedig igényli.
- Az alkalmazhatósági **teljesítménytartomány** függ a tárolási technológiától.
- A rendszer méretének jellemzésére a **fajlagos értéket kifejező energiasűrűség** alkalmas.
- A megtérülés szempontjából a **rendszer élettartama** alapvető adat. Kétféle élettartamot lehet értelmezni:
  - a **töltési kisütési ciklusok számát**
  - illetve az években kifejezhető **élettartamot**

### *c. A használható módszerek áttekintése.*

#### *i. Lendítőkerék*

'Töltése' felpörgetést jelent, 'kisütésekor' a forgási energia nyerhető vissza. Ezekhez a folyamatokhoz villamos gépet (nagy sebességű szinkron vagy aszinkron gépet, egyszer motorként, egyszer generátorként működve) és kétirányú energiaáramlást lehetővé tevő teljesítményelektronikát használnak.

Az eredő AC-AC hatásfok 80-85% körül van (függ a csapágyveszteségtől, légsúrlódástól).



Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elterjedt, főként a kisebb teljesítmény tartományban (1kW, 3h vagy 100kW, 30s).</li> <li>• Nagy ciklusélettartam.</li> <li>• Kis méret.</li> <li>• Környezetkímélő.</li> <li>• Kis karbantartási igény</li> <li>• Alacsony megsemmisítési költség élettartam végén.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nagyobb teljesítményeken még fejlesztés alatt (250kW, 10-15min)</li> <li>• A nagy energiájú forgó tömeget sokan veszélyesnek tartják</li> </ul>

### ii. Szivattyús tározók

Csúcsidőn kívüli fölösleges energiát vagy megújuló energiafajtából előállított villamos energiát felhasználva ez a tárolási technológia **víz szivattyú** egy magasabban (hegytetőn) lévő tárolóba. A tárolás a felpumpált vízmennyiség **potenciális energiájában** történik. Amikor az energiát használni akarjuk, ez a potenciális energia **turbinát hajtva visszanyerhető**.

Az eredő (teljes ciklusra vonatkozó) hatásfok 70-80%. Tartományon belüli nagysága a rendszer méretétől, a cső átmérőjétől, a vízturbina típusától és a tárolók közötti szintkülönbségtől függ.

Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Széles körben</b> használt (pl. 38 létező alkalmazás az USA-ban, akár 30-350MW teljesítménnyel), kiforrott és teljes egészében kidolgozott energiatárolási technológia.</li> <li>• Széles teljesítmény és energia <b>spektrum</b>. A tárolási idő nem korlátozott (tipikusan maximum pár nap).</li> </ul>	<p>Környezeti hatások jelentősek. Nagy és speciális adottságokkal rendelkező terület szükséges a kialakításához mind a felső, mind az alsó tároló esetén. Ezért a környezetvédők részéről jelentős ellenállással kell számolni tervezett létesítése esetén, ami meghúsíthatja, vagy legalábbis késlelteti megvalósítását (a kialakítás önmagában is nagyon időigényes). Földalatti tárolók kialakítása javíthat ezen a helyzeten. Ezért vizsgálják ezt a megvalósítási formát (EPRI, DOE). De az jelentősen megnöveli a beruházás költségeit, ezért még nem nyert sehol sem alkalmazást.</p>

### iii. Levegő sűrítés

Csúcsidőn kívüli fölösleges energiát vagy megújuló energiafajtából előállított villamos energiát felhasználva ez a tárolási technológia **levegőt sűrít össze földalatti tárolóba** vagy csőrendszerbe. Az energiatárolás az összesűrített levegő **potenciális energiájában** tárolódik. Amikor az energiát használni akarjuk, a levegőt felmelegítve (bármilyen üzemanyaggal) és átvezetve expanziós turbinán **elektromos generátort hajtunk vele**.

Az eredő (teljes ciklusra vonatkozó AC-AC) hatásfok körülbelül 85%.

Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Használt</b>, kiforrott és teljes egészében kidolgozott energiatárolási technológia</li> <li>• <b>Széles teljesítmény és energia spektrum</b>. A tárolási idő nem korlátozott (tipikusan maximum pár nap).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Nagy tőkeigény</b></li> <li>• Viszonylag <b>hosszú kialakítási idő</b>.</li> </ul>



#### iv. Szupravezetős mágneses energiatárolás

A csúcsidőn kívüli megtermelt energiát egyenárammá alakítják, majd beinjektálják egy **elektromágnes szupravezetős tekercsbe**, a tárolás a **mágneses mezőben** történik. A szupravezetőnek megfelelően alacsony hőfokon nulla ellenállása van, így a rendszer az energiát nagyon jó (98% körüli) hatásfokkal tárolja (a hűtési energia ebben az adatban nincs figyelembe véve). A tárolt  $Li^{2/2}$  energia az áram négyzetével arányos. Az elektromágnes lehet toroid és szolenoid kialakítású. A toroid kialakításnál kisebb a szórás, de a szupravezetős tekercskialakításának ott nagyobbak a költségei. A fentemlített magas hatásfokot jelentősen csökkenti a hűtésre fordított energia: 21%

Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Nagyon <b>gyors</b>, hálózati cikluson belüli átkapcsolás (17ms) lehetséges az energia betáplálás és az energia kivét között.</li><li>• Rövid idő alatt nagy energia szabadítható fel.</li><li>• <b>Kiforrott</b> technológia</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Főként <b>rövid idejű tárolásra-kisütésre</b> alkalmas (pár másodperc)</li><li>• Hosszabb időre tervezésnél jelentős a méretnövekedés</li></ul>

#### v. Akkumulátor

Az energia tárolás **legrégebben ismert módja**, amely elektrokémia elven működik. Az elektródák folyékony, zselés vagy szilárd elektrolitban vannak és azzal elektrokémia reakcióba lépnek töltés és kisütés közben. A hagyományosnak mondható akkumulátor fajták a következők:

- Savas ólomakkumulátor (Lead Acid) (legrégebbi),
- Nickel-cadmium akkumulátor,
- Lithium Ion akkumulátor,
- Natrium-kén (Sodium Sulfur NaS) akkumulátor,
- Natrium-Nickel-Klorid (Sodium Nickel Chlorid) akkumulátor.

A különféle típusok között **jelentős különbségek** vannak elsősorban:

- az energiasűrűségben,
- ciklusok számában és a hatásfokban,
- karbantartás igényben (legkisebb a lithium ion esetén, bár töltésének erősen kontroláltnak (cellánként) kell lennie
- cellafeszültségben (lithium ionnál magas 3-4V, ez eredményezi a nagy energiasűrűségét),
- működési hőmérsékletben (NaS esetén ez magas, 300C körüli), stb.

Az AC-AC eredő hatásfok 60-80% között van a típustól és a töltési-kisütési ciklus gyakoriságától függően. A Flow Battery-nél a hatásfok inkább 70% felett van: Vanadium Redox: 75%,

Zink bromide: 70%

Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"><li>• A hagyományos elemek használata <b>kiforrott</b> és széles körben alkalmazott technológia, tartalmazva a környezetkímélő karbantartást, selejtezést, újrahasznosítást is.</li><li>• <b>Gyors reagálási képesség</b> a töltésre (kevésbé a kisütésre).</li><li>• Moduláris, csendes, nem környezetszennyező, így közvetlenül a terhelés közelébe helyezhető.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Érzékeny a hőmérsékletre.</li><li>• Érzékeny a mélykisütésre.</li><li>• Korlátozott töltési kisütési ciklusszám</li></ul>

#### vi. Hidrogén alapú energiatárolás

Villamos energiából elektrolízis útján **hidrogén állítható elő**. Tartályban tárolható. A benne tárolt energia visszanyerése kétféle úton történhet: elégetve üzemanyagként használható

motorokban, vagy üzemanyagcella üzemanyaga is lehet.

Alacsony nyomású elektrolízissel az eredő hatásfok alacsony, 30-40% körüli. Magas nyomású elektrolízissel ezt 60-85% körül várják.

Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Nagyon <b>tiszta üzemanyag</b>, az energiatermelés mellékterméke a víz. Környezetbarát.</li><li>• <b>Nagy energiasűrűség.</b></li><li>• A teljes teljesítményskála átfogható vele (pár kW-tól több MW-ig)</li><li>• A teljes energiaskála átfogható vele.</li><li>• A tárolási idő <b>több hónap</b> is lehet.</li><li>• A rendszer töltési sebessége, kisütési sebessége és tárolási kapacitása <b>egymástól függetlenül megválaszthatók.</b></li><li>• Moduláris konstrukcióra alkalmas, lehetővé téve további modulok hozzáadását, a rendszer újrakonfigurálását.</li><li>• A hidrogén egyéb célokra is használható (pl. járművekben).</li><li>• Flexibilisen használható akár helyhez kötött, akár hordozható kivitelben.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• A hidrogén technológia egyes elemei még kidolgozásra várnak.</li><li>• Költséges.</li><li>• Alacsony nyomás alatti elektrolízissel az eredő hatásfok alacsony, 30-40% körüli.</li></ul>

### *vii. Szuperkapacitás*

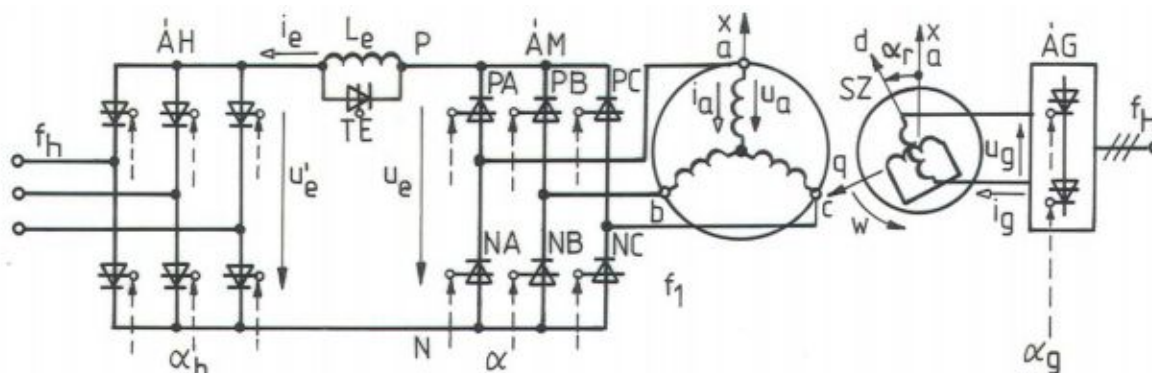
Ez az egyetlen módszer, amely **közvetlenül villamos energiát tárol**, kondenzátorban. A tárolt  $CU^{2/2}$  energia arányos a kondenzátor kapacitásával, az pedig a geometriai méretekől függ, **a felület nagyságával nő**. A hagyományos kondenzátorok használata energiatárolási célra nagyon nagy méretet eredményezne. Az ultrakapacitások speciális nagy felületű anyagból készülnek. Így az energiatároló képessége a hagyományos kondenzátorokéhoz képest kb. két nagyságrenddel nagyobb.

A közvetlen elektromos energiatárolás miatt magas az eredő hatásfok: 86%

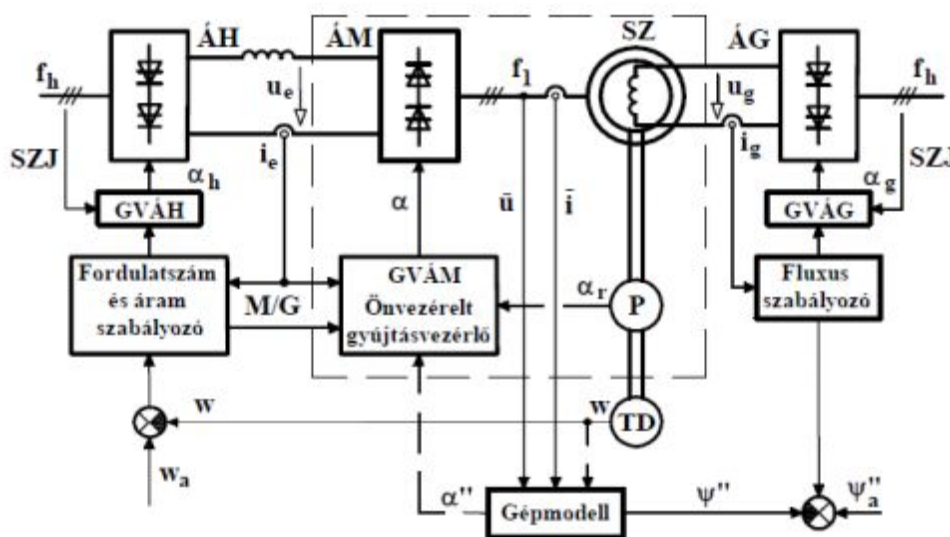
Előnyök:	Hátrányok:
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kis méret.</li><li>• Jelentősen <b>gyorsabban tölthető</b>k, mint a hagyományos akkumulátorok.</li><li>• Az újratöltések száma csaknem végtelen,</li><li>• élettartama hosszú.</li><li>• Alacsony hőfokon is működőképes (akár -25C fokig)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Egy cella feszültsége <b>2V</b> környékén van. Soros kapcsolással növelhető az eredő feszültség, de a modulfeszültség biztonsági okokból most még 200-400V környékén van.</li><li>• Tárolási képesség viszonylag kicsi: kisebb mint 100kW.</li><li>• <b>Rövid idejű energiaszolgáltatásra</b> képes: 10s körül.</li></ul>

## 5. Az áramirányítós szinkrongép alapjai

### a. Felépítés, kapcsolás, működés.



Gyújtásvezérléssel az ÁM áramirányító mind egyenirányító, mind inverter üzemre vezélhető, így az egyirányú  $1 < \alpha < \pi$  egyenáramú középérték ellenére az ÁSZM motoros és generátoros üzemre egyaránt képes. A szinkrongép motoros üzemében ÁH egyenirányítóként, ÁM inverterként dolgozik és ilyenkor az egyenfeszültség középértéke  $U_{ek} < 0$ . Generátoros állapotban az áramirányítók üzemmódot váltanak és ennek megfelelően  $U_{ek} > 0$  lesz. Az ÁM áramirányító tirisztorainak gyújtásában fázissorrendet cserélve mindkét forgásirányú hajtás és fékezés (4/4-es üzem) lehetséges.



9.2. ábra: Szabályozott ÁSZM blokkvázlata.

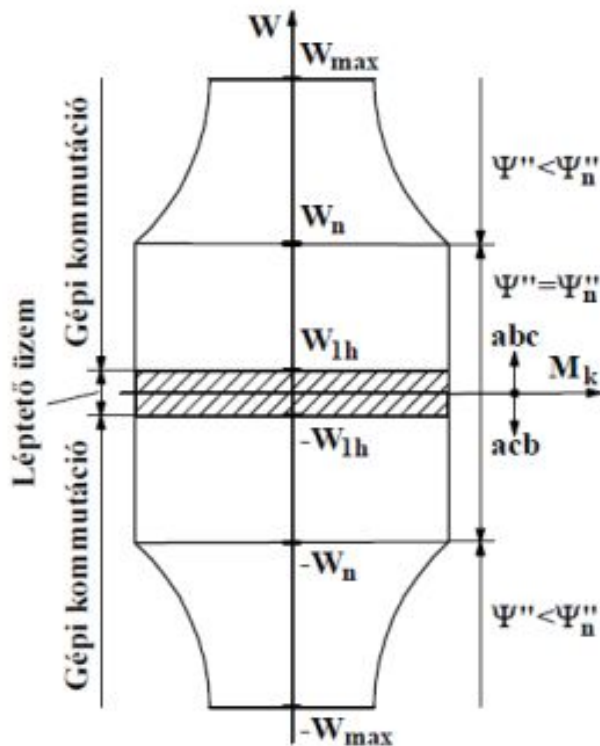
A 9.2. ábra fordulatszám és fluxus szabályozott ÁSZM hajtás blokkvázlatát mutatja. Az  $\alpha_h$  gyújtásszög a fordulatszám szabályozó, az  $\alpha_g$  gyújtásszög a fluxus (gerjesztés) szabályozó beavatkozó jele. Általában mindkét szabályozó alárendelt áramszabályozással rendelkezik. Az ÁM áramirányító gyújtásszögét az SZ szinkrongép jeleiről működtetett önvezérelt gyújtásvezérlő állítja be. Az önvezérlővel optimalizálható a nyomatékképzés motoros (M) és generátoros (G) üzemben. Az ÁH hálózati és az ÁG gerjesztőköri áramirányítók egyenáramú kapcsolásairól nézve az önvezérelt ÁM áramirányítóról táplált szinkrongép (a szaggatottan körülhatárolt rész a 9.2. ábrában) egyenáramú gépként viselkedik. Igazi egyenáramú motoros hajtásban csak  $u_e$ -t és  $u_g$ -t lehet változtatni, a motoroldali áramirányító gyújtásszögének megfelelő keféhid helyzetet nem szokás állítani. Az ÁSZM-ben mindig szükség van a gerjesztés szabályozására a szinkrongép nagy armatúra visszahatása miatt.



$$W = W_1 = \frac{U_{ek}}{K_u \Psi'' (\cos \alpha + \cos \kappa)}, \quad M_k = \frac{-U_{ek} I_e}{W} = K_m \frac{\Psi''^2}{L''} (\cos 2\kappa - \cos 2\alpha).$$

#### d. Önvezérlés, működési tartományok.

Motoros és generátor üzemben egyaránt képes működni, azonban a  $W > W_n$ ,  $f_1 > f_1n$  tartományban mezőgyengítést kell alkalmazni.



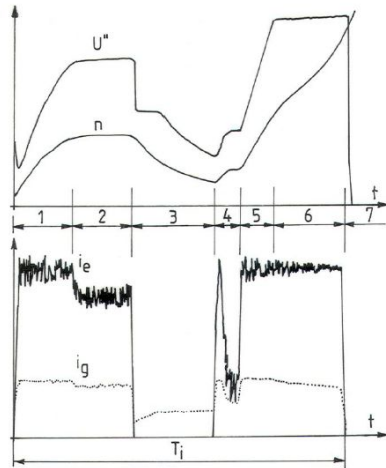
#### e. Gázturbinás szinkrongenerátor egység indítása.

Az indítást az erőművi irányító kezdeményezi. A  $T_i = 15-20$  min-ig tartó indítási folyamat fő jellemzőit az  $n$  fordulatszámot, a szubtransziens feszültség  $U''$  amplitúdóját, az  $i_e$  egyenáramot és az  $i_g$  gerjesztőáramot mutatja a 12.15. ábra. Az indítás az ábrába bejelölt alábbi fő szakaszokból áll:

1. Elindítás és felgyorsítás kb.  $1/3 n$  (névleges) = 1000/min fordulatszámig.
2. Néhány perces  $n = \text{const.}$  fordulatszámú üzem a gázturbina kiszellőztetése céljából, majd a szakasz végén az  $i_e$  áram és a nyomaték megszüntetése.
3. Az ÁSZM  $i_e$  egyenáramának megszűnését követő kipörgés (lassulás), amely alatt előkészítik a gázturbina begyűjtését.
4. A kipörgést követően az  $i_e$  egyenáram újraindítása, gyorsítás, majd fordulaton tartás a gázturbina begyűjtése alatt.
5. A gázturbina begyűjtését követően további, állandó fluxus melletti gyorsítás az ÁSZM-mel és a gázturbinával.
6. A kb.  $1/3 n$  fordulatszám feletti mezőgyengítéses gyorsítás, amikor  $U_1 = U'' = \text{const.}$  Az ÁSZM kapcsolású generátor kb.  $2/3 n$  (névleges) = 2000/min fordulatszámig vesz részt a gépcsoport gyorsításában.

7. Az ÁSZM ie egyenáramának és ig gerjesztő áramának megszüntetése után a turbina-generátor gépcsoportot a gázturbina gyorsítja tovább az  $n(\text{névleges}) = 3000/\text{min}$  fordulatszámig.

Az 1. és 4. szakaszban az ÁSZM, az 5. és 6. szakaszban az ÁSZM és a gázturbina, a 7. szakaszban csak a gázturbina gyorsít.



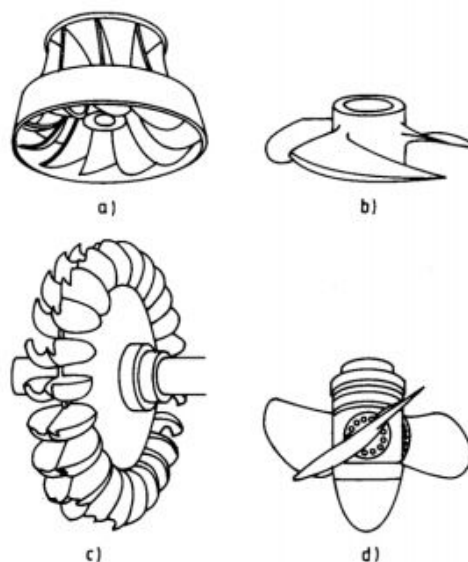
12.15. ábra:  
ÁSZM fő jellemzői az indítási folyamat alatt.

## Vízerőművek

### 1. Vízerőművek típusai esésmagasság szerint

kis esésű	közepes esésű	nagy esésű
0-15 m <ul style="list-style-type: none"> <li>• átfolyó rendszerű,</li> <li>• duzzasztóművel</li> <li>• Kaplan vagy propeller turbinával</li> </ul>	15-50 m <ul style="list-style-type: none"> <li>• folyó vagy tó, tároló gáttal</li> <li>• Francis turbinával</li> </ul>	>50m <ul style="list-style-type: none"> <li>• hegyen levő tározóval</li> <li>• Pelton turbinával</li> </ul>

### 2. Turbina típusok, alkalmazási területek



3-2. ábra. A turbina járókerekeinek típusai.  
a./ Francis,  
b./ propeller,  
c./ Pelton,  
d./ Kaplan.

alkalmazás -> 1 feladatnál



### 3. Vízerőművekből kinyerhető teljesítmény, jellemző fordulatszám

A vízerőműből kinyerhető teljesítmény [kW]-ban:

$$P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{TR} \quad (3-1)$$

Itt:  $g$ : nehézségi gyorsulást [ $m/s^2$ ],

$\rho$ : a víz sűrűsége [ $kg/dm^3$ ],

$Q$ : térfogatáram [ $m^3/s$ ],

$\eta_T, \eta_G, \eta_{TR}$ : hatásfokok (turbina, generátor, transzformátor).

A turbinák névleges fordulatszámát a hidraulikus oldal határozza meg:

$$n_{Tn} = N_s \sqrt{\frac{H^{5/2}}{P_{Tn}}}, \quad (3-2)$$

itt  $n_{Tn}$  a turbina névleges fordulatszáma [1/min]-ban,  $P_{Tn}$  [kW]-ban és  $H$  [m]-ben helyettesítendő.

Az  $N_s$  „jellemző fordulatszám” gazdasági és konstrukciós optimumok alapján alakult ki és táblázatokból vehető ki (3-2. táblázat).

Turbina típus	Jellemző fordulatszám ( $N_s$ )
Francis	70-500
Propeller	600-900
Kaplan	350-1000
Pelton 1 sugárral	10-35
Pelton 2 sugárral	10-45

### 4. Nagyteljesítményű vízerőművek generátorainak jellemzői

A nagyteljesítményű vízerőművek generátorai: sokpólusú szinkron generátorok:

$$6 \leq 2p \leq 100.$$

A generátorok forgórésze kiálló pólusú és gyűrű alakú. A generátorok szinkron fordulatszámát a hálózati frekvencia és a pólusszám határozza meg:

$$n_{G1} = \frac{60f_H}{p} [1/min].$$

Nagy teljesítményen áttételt nem szoktak alkalmazni, ezért

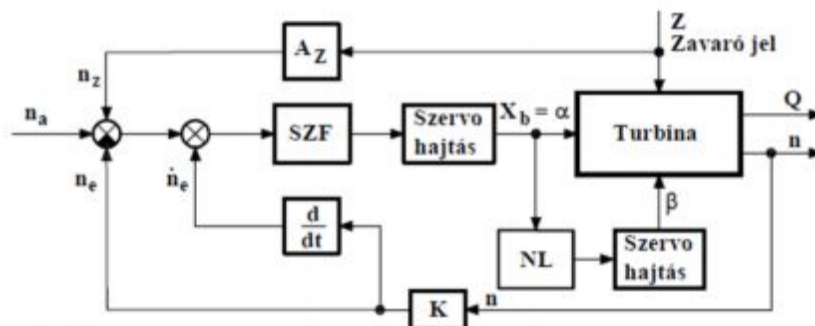
$$n_{G1} = n_{Tn}.$$

Mint mondtuk a fordulatszámot a hidraulikus oldal határozza meg, így a szükséges pólusszám:

$$p = \frac{60f_H}{n_{Tn}}.$$

A nagy pólusszám miatt  $n_{Tn}$  finoman „hangolható”, és így az optimális  $N_s$  jellemző fordulatszámok kellő pontossággal beállíthatók. A nagyteljesítményű egységek általában függőleges tengelyelrendezéssel készülnek.

## 5. Vízuturbinák klasszikus fordulatszám szabályozása (ábrák)



Szigetüzemben: a szabályozás célja a frekvencia pontos tartása a fordulatszám segítségével. Ekkor dP, dH, dQ zavaró jelek.

Hálózati üzemben: a frekvenciát a teljes villamos rendszer határozza meg, a szabályozás elsődleges célja a terhelésben való részesedés meghatározása.

A szabályozás másodlagos célja: megvédeni a rendszert a károsodástól (megszaladás, ugrásszerű nyomásváltozás).

Hálózati üzemben a fordulatszám szabályozás a legbelső hurok, amely fölé teljesítmény szabályozó hurok, esetleg frekvencia szabályozó hurok van rendelve.

A sebesség szabályozás a turbinán áthaladó Q térfogatáram szabályozásán keresztül valósul meg, mivel ( $P_H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{TR}$ ) alapján ezzel szabályozni lehet a hálózatnak átadott  $P_H$  teljesítményt.

## 6. Korszerű mikroporcesszoros fordulatszám szabályozás alapelvei

A mai modern vízerőművi turbina-generátor szabályozások mikroprocesszoros kivitelben készülnek, és alapvető követelmény, hogy a rendszer hibatűrő legyen. Ennek egyik lehetséges kivitele esetén pl. a fordulatszám szabályozás megduplázott hardverrel és szoftverrel készül, két lokális és egy multi-busszal. Mindkét rendszer a következő input/output interfészeket tartalmazza.

Bemenetek:

- két frekvenciamérő csatorna (fH, fG),
- két adatgyűjtő A/D átalakító (PG, H),
- hat digitális bemenet (indulás, leállítás, teljesítmény alapjel le/fel, generátor/konverter üzem, a megszakító állapota).

Kimenetek:

- két D/A átalakító (: nyitás, : járókerék)

A szabályozó/vezérlő köröket szünetmentes áramforrás táplálja.

## 7. Stabilitási kérdések, megszaladás

## 8. Szivattyús-tározós vízerőművek (SZET) alapelve, 4 gépes rendszer

A 3-11. ábrán külön motor-szivattyú és turbina-generátor négygépes rendszert tételeztünk fel (ilyenek voltak a korai megoldások). Elvileg a két gépcsoport összevonható egygé, hiszen a villamos gép működhet motorként és generátorként is, és hasonlóan a vízgép is működhet turbina és szivattyúként is.

## 9. Kétgépes és háromgépes SZET lehetséges megoldásai.

10. Milyen tényezőktől függ a turbina/szivattyú hatásfoka?

11. A SZET lehetséges funkciói és szolgáltatásai.

12. A kétgépes rendszer üzemmódjai.

13. Mikor tekinthető gazdaságosnak a SZET alkalmazása? (meghatározás, képlet)

14. Magyarországi tervek SZET építésére.

15. Lúgos elektrolizáló cella felépítése, egyenletei, jelleggörbéi.

16. Protonátvezető membrános üzemanyagcella (PEMFC) felépítése, jelleggörbéi, és a veszélyes üzemmódok megnevezése.

17. Szélenergián és hidrogén technológián alapuló hibrid erőmű felépítése.

18. A hidrogén szokásos tárolási módjai (csak felsorolás).