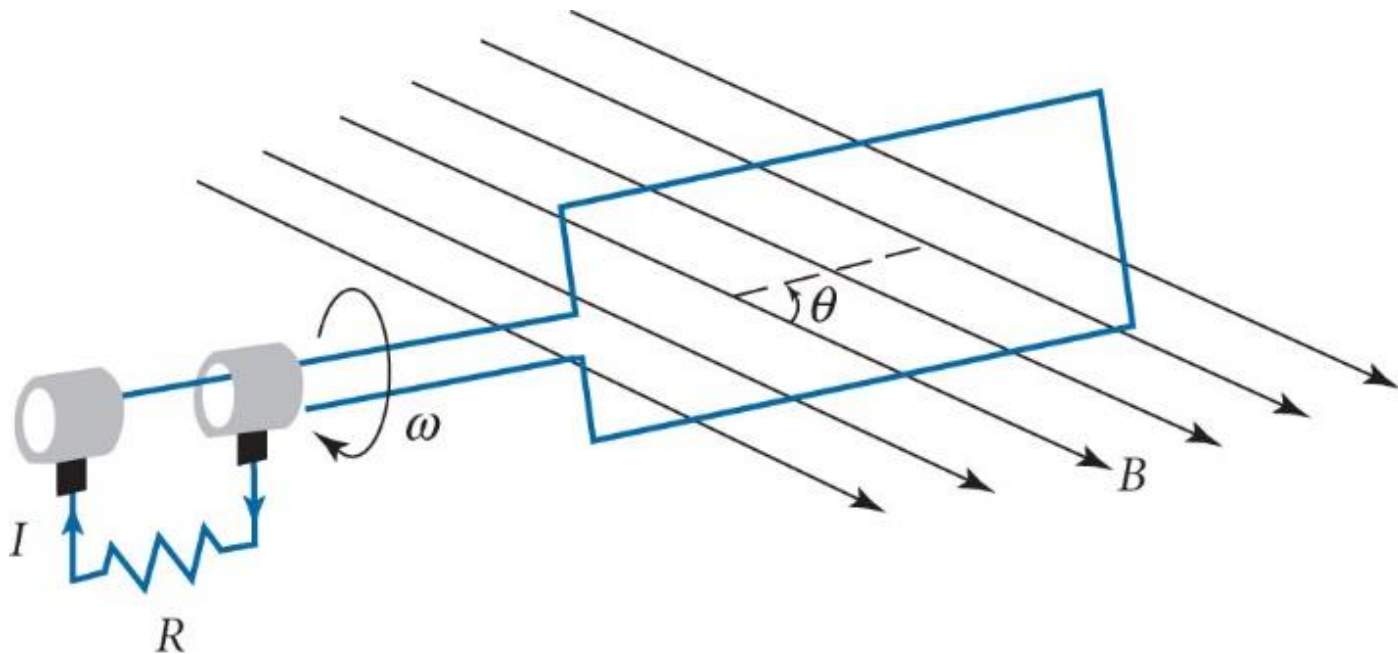


10 ПРОИЗВОДСТВО И ПРЕНОС НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА, СКЛАДИРАЊЕ НА ЕНЕРГИЈА, ГОРИВНИ КЕЛИИ

- Во ова поглавје ќе се запознаеме со начините на претворање на ротационата енергија на турбините во електрична енергија и нејзин пренос до крајните корисници (потрошувачи), како и со начините на складирање на енергија, батерии и горивни ќелии.

10.1 ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

- Основниот начин на производство на електрична енергија е прикажан на следната слика



Затворено коло на проводник кој ротира во униформно магнетно поле

- Затворено коло од проводник во рамнина кое има површина A , се врти со константна аголна брзина ω , во униформно магнетно поле со индуктивитет B . Ако рамнинското коло се состои од N намотки и зафаќа агол $\theta = \omega t$ со магнетното поле во момент t . Магнетниот флукс кој го пресекува колото е даден со:
 - $$\varphi = NBA \cos \theta = NBA \cos \omega t \quad (10.1)$$
 - Ако го примениме Фарадеевиот закон, тогаш електромоторната сила (потенцијалната разлика на краевите на проводникот) е еднаков на брзината на промена на флуксот во времето

- $V = \frac{d\varphi}{dt} = NBA\omega \sin \omega t$ (10.2)

- Ако на краевите на проводникот поврземе отпор R , тогаш низ проводникот ќе почне да тече наизменична струја:

- $I = \frac{V}{R} = I_0 \sin \omega t$ (10.3)

- каде: $I_0 = \frac{NBA\omega}{R}$ (10.4)

- е максималната струја (амплитудата) што тече низ намотката

- За да може намотката да ротира потребни се т.н. колектори кои ќе ја пренесат електричната енергија кон надворешното коло. Од равенка 10.3 може да се заклучи дека ако намотката не ротира нема индуцирање на електрична енергија.
- ПРИМЕР 10.1: Проводник со 1000 намотки и површина од 1 m^2 ротира со 50 Hz во униформно магнетно поле со 0.5 T. Да се пресмета максималната струја што поминува низ отпорник од 1000 Ω .

- Од равенка 10.4 добиваме:

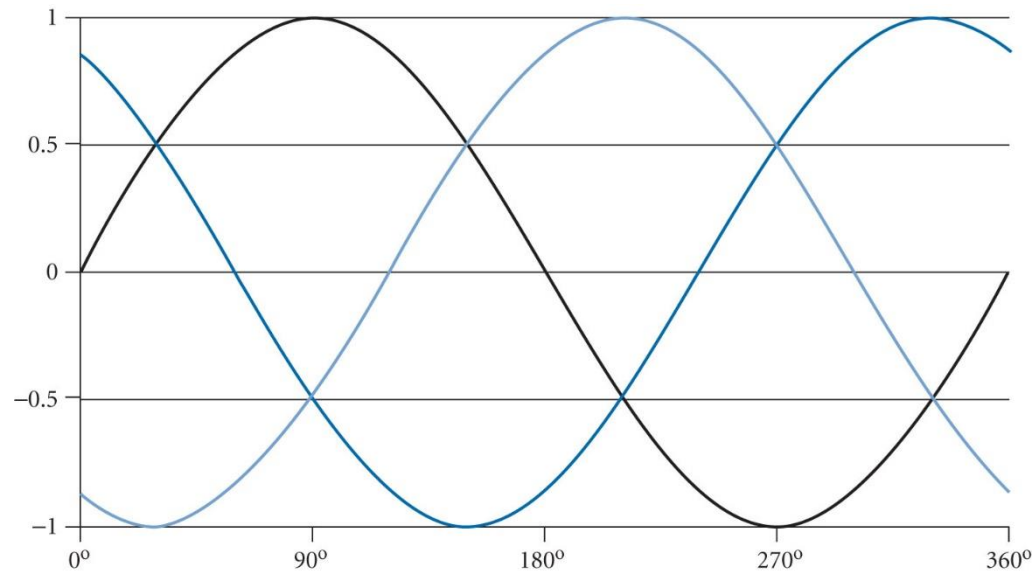
$$I_0 = \frac{NBA\omega}{R} = \frac{1000 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50}{1000} \approx 157 \text{ A}$$

- Кај големите генератори наместо да се користат перманентни магнети, магнетното поле се создава со протекување на еднонасочна струја низ намотките на роторот, што е поекономична варијанта, иако имаме загуби поради загревање на намотките.
- Намотките на статорот се тие кои ја произведуваат електричната енергија

- Фреквенцијата на електричната енергија е избрана 50/60 Hz за да се избегне трепкањето на електричните светла.
- Конфигурацијата на намотките е сложена, со цел да се максимизира ЕМС, а притоа да се избегнат виорните струи, поради неправилниот однос на намотките со магнетното поле и кои се загуба.
- Виорните струи се намалуваат со зголемување на отпорот на проводниците низ кои тие течат, и со ламинирање на металното јадро на статорот, со што тие

- струи би течеле низ тенките ламинати. Еволуцијата на проектирањето на статорот и роторот кај генераторите е често добро чувана тајна на компаниите кои ги произведуваат.
- Електричната енергија најчесто се генерира со три фази, т.е. преку три сета на намотки поместени за 120° . Трофазната електрична енергија е изум на Никола Тесла. Предноста на трофазната струја е што никогаш не е нула и моќноста генерирана од неа е константна, како и користење на помалку материјал при производство на струја (75%)

- Топлината се дисперзира низ статорот, но кај поголеми моќности потребно е надворешно ладење, бидејќи при повисоки температури отпорноста низ проводниците се зголемува, и се намалува векот на траење на изолацијата.



Трифазна струја

- Кај посебни изведби на генератори, како кај ветерниците, поради компактна изведба на генераторот, се користат перманентни магнети (неодимиумски NdFeB) кои имаат висока густина и флукс на магнетното поле, па со малку материјал се создава силно магнетно поле.
- Кај генераторите кај кои нема константна брзина на ротација, имаме претворување на наизменичната струја во еднонасочна, па потоа во наизменична со константна фреквенција.

10.2 ВИСОКОНАПОНСКИ ПРЕНОС НА ЕНЕРГИЈА

- При пренос на големи количества на електрична енергија треба да се дефинира следното:
- Кој е оптималниот напон за далечински пренос на енергија?
- Како се зголемува или намалува напонот?
- Дали е подобро да се пренесува еднонасочна или наизменична струја?
- За да се одговори на првото прашање треба да се примени омовиот закон и да се пресмета загубата на енергија преку загревање на проводниците.

- Идеално би било преносот на енергија да се врши со помош на суперпроводници, но во моментов не постојат материјали кои се суперпроводливи на нормални амбиентални температури.
- Ако користиме проводник со отпорност ρ , со површина на пресек A и должина L , тогаш отпорот во проводникот е:
 - $$R = \frac{\rho L}{A} \quad (10.5)$$
 - Ако струјата што тече низ проводникот е I и напонот е V , тогаш загубата на моќност поради отпорот е:

- $\Delta P = RI^2 = \rho \frac{I}{A} LI$ со замена $I = P/V$ се добива:
- $$\frac{\Delta P}{P} = \rho \frac{I}{A} \frac{L}{V} \quad (10.6)$$
- Ограничувањето на загубата е во густината на струјата, која влијае на загревањето, и обратно пропорционална на напонот, т.е. при пренос на неизменична струја напонот треба да биде што повисок.
- Во Европа е 400 kV за надземен пренос, при што загубите се 5-10%. Надземен пренос се користи секаде каде што може, бидејќи цената на чинење на инфраструктурата е 10% од подземниот пренос.

- Предноста на преносот на наизменична струја е што промената на напонот се изведува едноставно со трансформатори, додека кај еднонасочната струја е потребна електроника.
- Пример: Енергетска постројка пренесува 100 MW, преку далновод долг 50 km, со отпор од $0.01 \Omega \text{km}^{-1}$. Да се пресмета процентуалната загуба на моќност ако преносот е со а) 10 kV, б) 400 kV.
- Отпорот на целиот далновод е $R=0.01 \times 50=0.5 \Omega$.

- За пренос од 10 kV струјата е $I=P/V=1000$ A
- Процентуалната загуба е:

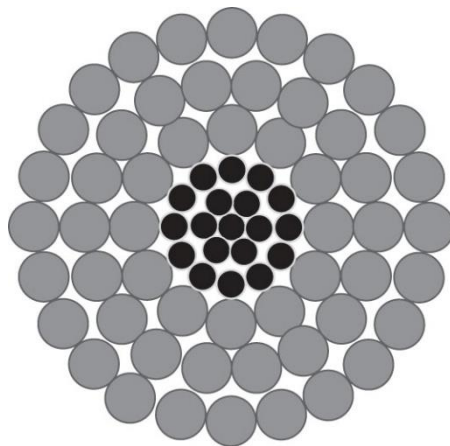
$$\Delta P = \frac{RI^2}{P} = 50\%$$

- За пренос од 400 kV струјата е $I=P/V=250$ A
- Процентуалната загуба е:

$$\Delta P = \frac{RI^2}{P} = 0.03\%$$

- Струјата се пренесува како трофазна, секоја фаза на различна височина од земјата, на заземјени далноводи, како заштита од громови. Височината на далноводите е дефинирана со условот да немаат

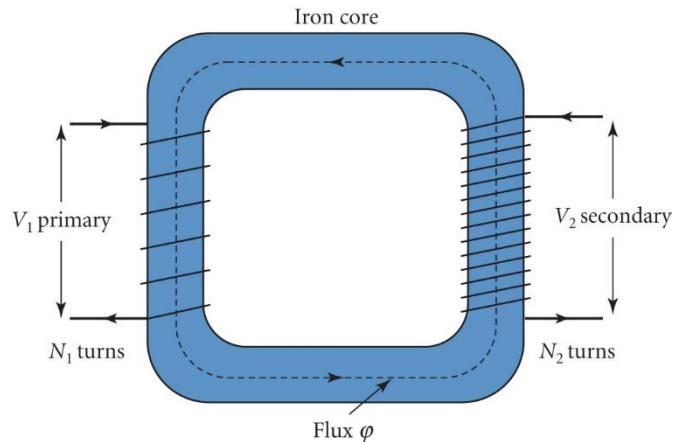
- влијание на живиот свет под нив.
- Пресекот на каблите за надземен пренос на електрична енергија се дадени на следната слика:



- Пресек на кабел за пренос на струја со надворешни алуминиумски а внатрешни челични проводници.
- За пренос при повисоки напони се користат пакети од кабли 2, 3 или 4.

10.3 ТРАНСФОРМАТОРИ

- Електричната енергија во централите најчесто има напон од 18-20 kV.
- За да се пренесе, напонот треба да се зголеми на 400 kV, што се прави во трансформатори, чиј принцип на дејство е прикажан на следната слика



Трансформатор

- Трансформаторот се состои од две намотки кои се наоѓаат на заедничко железно јадро. Односот на напоните е право пропорционален на бројот на намотките на соодветната страна на трансформаторот.

$$V_2 = -\frac{N_2}{N_1} V_1$$

- Ефикасноста на големите трансформатори е околу 99%, главните загуби се поради отпорот на намотките па треба да се ладат.
- Пример: Да се пресмета односот на бројот на намотките на примарната и секундарната страна на трансформаторот

- ако напонот од 20 kV треба да се зголеми на 400 kV

$$\frac{V_2}{V_1} = -\frac{N_2}{N_1} = \frac{400}{20} = 20$$

10.5 ЕНЕРГЕТСКА МРЕЖА

- Мрежата која ги поврзува производителите на електрична енергија со потрошувачите, и која е сложена мрежа која се состои од далноводи, трансформатори и дополнителна опрема, која мора да се управува централно од еден национален диспечерски центар, со

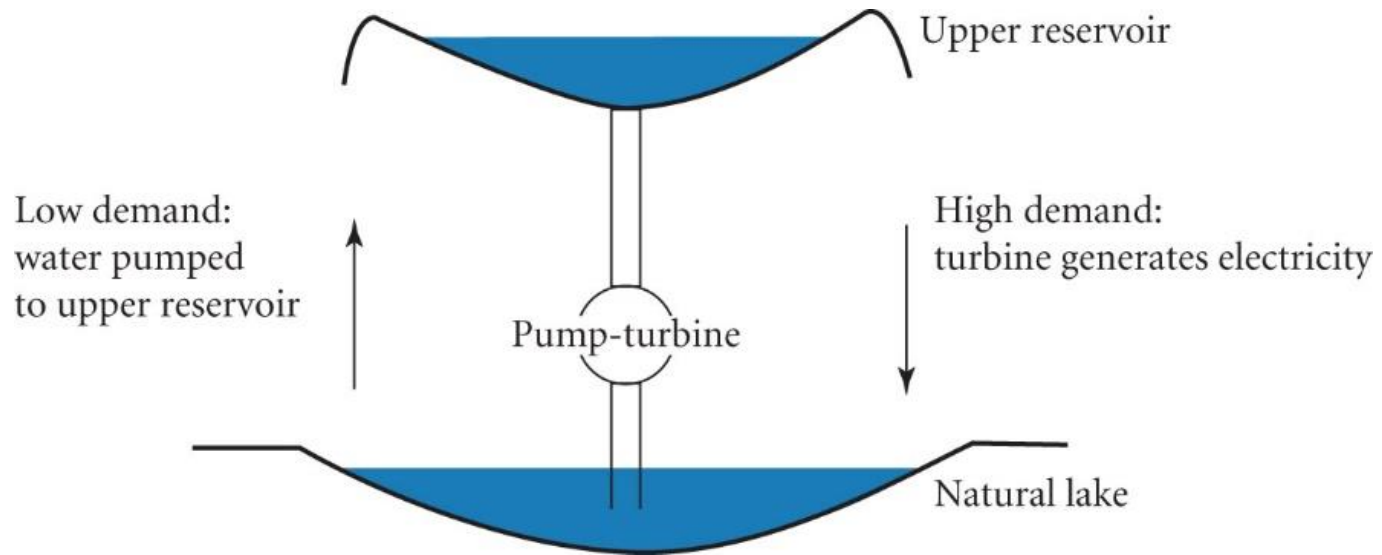
- цел да остане во баланс, т.е. во секој момент побарувањето на потрошувачите плус загубите во дистрибуција и трансформација треба да е еднакво со произведената електрична енергија, правилно и правовремено дистрибуирана до секој поединечен потрошувач.
- Енергетската мрежа е секогаш проектирана да има редундантни водови кои ќе обезбедат алтернативни рути на енергијата во случај на колапс на еден далновод.

10.6 СКЛАДИРАЊЕ НА ЕНЕРГИЈА

- Ако сакаме да имаме флексибилни енергетски системи, во секој момент треба да имаме резерва на енергија, складирана и на располагање за краток временски период.
- Во наредните поглавја се разгледуваат начините на складирање не само на електрична енергија, туку и на енергија која за кратко време може да се трансформира во електрична и да покрие зголемено побарување (пикови).

10.7 РЕВЕРЗИБИЛНИ ХИДРОЦЕНТРАЛИ

- Во ситуацији кога во текот на денот имаме вишок на енергија од базичните производители на енергија (термо и нуклеарна), тогаш таа евтина енергија можеме да ја искористиме за пумпање на вода кај реверзибилните хидроелектрани од долната во горната акумулација. Таа вода ќе ја искористиме за производство на електрична енергија во периодите кога потрошувачката е голема и електричната енергија е скапа.
- Принципот на дејство е прикажан на следната слика



Реверзибилна хидроцентрала

- Предноста на реверзибилните централи е што брзо можат да се вклучат на мрежа и што можат да акумулираат големо количество на енергија во однос на другите начини на складирање на енергија

- Пример: Да се пресмета акумулацијата на реверзибилна хидроцентрала ако проектираниот пад $h=500$ m, и треба да обезбеди моќност од 100 MW за 3 часа на ден. Претпоставка е дека ефикасноста на централата η е 90% и густината на водата ρ е 1000 kgm^{-3} .
- Од равенка 4.1 протокот кој е потребен да се генерира моќност од 100 MW е:

$$Q = \frac{P}{\eta \rho g h} = \frac{100 \cdot 10^6}{0.9 \cdot 1000 \cdot 9.81 \cdot 500} \approx 22.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

- Волуменот за три часа производство е:

$$V = Q \cdot t = 22.2 \cdot 3 \cdot 60 \cdot 60 \approx 240000 \text{ m}^3$$

10.8 СКЛАДИРАЊЕ НА КОМПРИМИРАН ГАС

- Во ситуацији кога во текот на денот имаме вишок на енергија од базичните производители на енергија (термо и нуклеарна), тогаш таа евтина енергија можеме да ја искористиме за компримирање на воздух во контејнери или големи подземни простории.
- Првата голема постројка за складирање на компримиран воздух е во Германија и користи пештера од стар рудник на сол, бидејќи солта под притисок ги затнува отворите кои евентуално постојат.

- Предноста на компримираниот воздух е што брзо може да се користи (за помалку од 10 минути), и тоа помешан со запалив гас, се согорува и се експандира во класична турбина.
- Проблем е наоѓање на доволно голем резервоар кој би бил херметичен и кој би го издржал притисокот, кој може да предизвика експлозии.

10.9 ЗАМАЈЦИ

- Замајците акумулираат енергија во облик на ротациона кинетичка енергија. Идејата не е нова, има примена подолго време во управувачите со мрежа, како краткотрајна енергија за фино подесување на параметрите (вртетка резерва)
- Во 1950 во Швајцарија имало автобуси погонувани со замајци со растојание од 6 km помеѓу станиците, се движеле со брзина од 50-60 km/h.

- Кај автомобилите има замајци кои обезбедуваат кинетичка енергија во крајните точки на клиповите.
- Конвенционалните замајци за акумулација на енергија се изработени од метал, се вртат до 4000 vrt/min.
- Со користење на модерни материјали кои се цврсти и лесни, како пластики, карбон и епоксиди и магнетни лежишта во вакуум, може да се постигне брзина на вртење од 100 000 vrt/min.

- Кинетичка енергија на замаец:
- $$E = \frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} k m r^2 \omega^2$$
- зависи од ротирачката маса, но од брзината на ротирање на квадрат, поради што е битно да ротира побрзо.
- $k=1$ за тенок прстен, $k=1/2$ за диск.
- Максималната брзина на вртење е одредена од максималните напони σ_{\max} кои материјалот може да ги поднесе без да се скрши.
- Капацитетот на епоксидните замајци е 0,5 MJ/kg, така што капацитетот на модерните замајци е споредлив со тој на батериите.

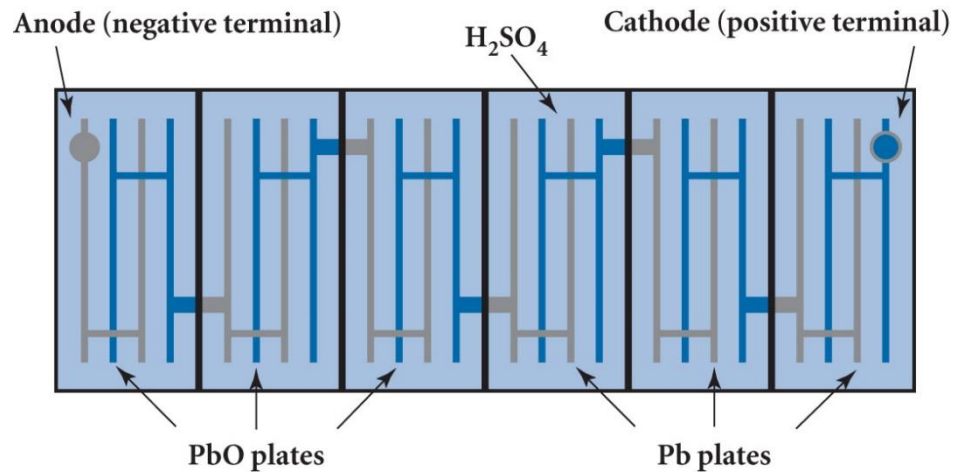
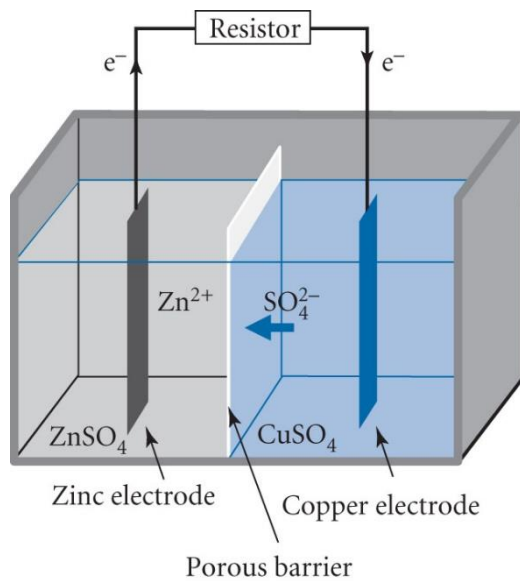
- Ефикасноста на замајците е околу 80%, но имаат проблем со сигурноста, посебно поради проблеми со лежиштата.
- Цената на чинење по единиечна произведена енергија е двојно поголема од реверзибилните централи.

Пример: замаец со облик на диск со радиус од 1 m и тежина 1 t се врти со 4000 vrt/min. Да се пресмета кинетичката енергија.

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 1^2 \cdot \left(\frac{2 \cdot 3.14 \cdot 4000}{60} \right)^2 = 43,8 \text{ MJ}$$

10.11 БАТЕРИИ

- Батериите се електрохемиски уреди за акумулација на енергија во облик кој брзо може да се претвори во електрична енергија.
- Хемикалиите се наоѓаат внатре во батеријата и се неизменливи.
- Можат да бидат за една употреба или полниви, кои и се користат за акумулирање на поголеми количества на енергија
- Претставуваат сериски поврзани ќелии кои се состојат од катода, анода и електролит



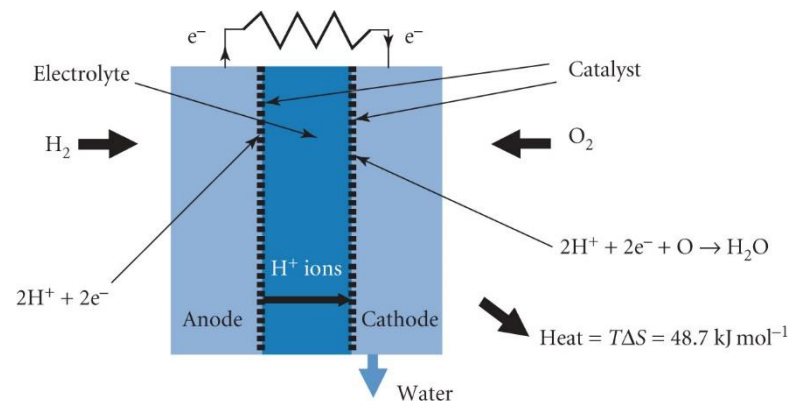
Ќелија и батерија

- Најкористени типови на батерии се оловните со сулфурна киселина како електролит.
- Новите батерии со поголем капацитет се натриум сулфур, кои имаат ефикасност од 95%

10.12 ГОРИВНИ ЌЕЛИИ

- Горивните ќелии се електрохемиски уреди за акумулација на енергија во облик на водород.
- Хемикалиите кои се водород и кислород се дополнуваат континуирано во горивната ќелија.
- Работат на принцип на обратна електролиза, доведување на водород и кислород, создавање на вода со помош на катализатори, при што се ослободува енергија помеѓу двете електроди.
- Чиста енергија, без загадување, при што отпад е вода. Пронајдена 1839 почнува да се применува во вселенската програма во XX век.

- Поради тоа што е енергија која не ослободува јаглерод, и притоа има висока ефикасност на претворување, се повеќе се развива, пред се во насока на материјали за електродите, катализаторите и изборот на електролитите.
- Постојат два типа на горивни ќелии, со течен и цврст електролит (PEM ќелии) кои и се најраспространети горивни ќелии



PEM (мембрана за протонска размена) ќелија

- Водородот се чува компримиран во лесни поликарбонатни шишиња под притисок до 34 MPa, но дури и тогаш има само 31 gr/l. Енергијата употребена за компримирање е 10% од енергијата на компримираниот водород.
- Водородот се добива преку електролиза на вода, реакција на хидрокарбон со пареа (реформирање) и од биомаса, со користење на енергија од енергенси со ниска емисија на јаглерод.

10.14 ПРЕГЛЕД НА ГОРИВНИ ЌЕЛИИ

- Горивните ќелии произведуваат електрична енергија која не емитура јаглерод, и имаат релативно висока ефикасност од приближно 50%
- Немаат подвижни делови, вибрации, тивки се и доверливи.
- Горивото (водородот) е скап, со тоа и енергијата произведена во горивните ќелии е скапа.
- Во возилата сеуште димензиите на горивните ќелии се преголеми.
- Сепак NASA успеа да ги намали и да им ја зголеми ефикасноста.