

Kurentofontoj

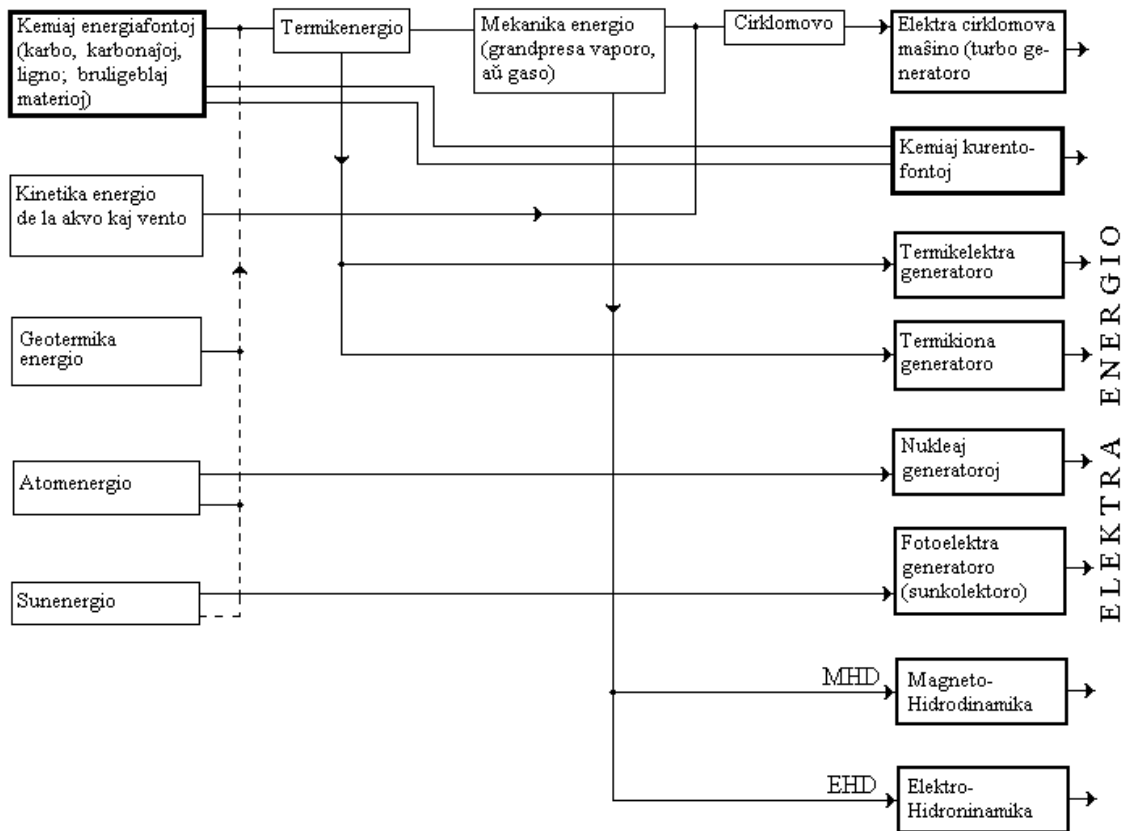
Por funkciigi diversajn elektromaŝinojn, aparatojn oni bezonas elektran energion. La energio ĝenerale signifas fizikan nocion, kiun reprezentas amasiĝinta laboro en la materiaj sistemoj, kies laboron tiuj povas redoni. La konservitan laboron oni nomas *energio*. Alinome, la *energio estas la laborkapablo de la materiaj sistemoj*. La energio havas diversajn formojn: mekanikan, termikan, elektran, kemian, nuklean ktp.

Tiujn materiojn, kiuj enhavas energion, oni nomas *energiohavantoj*. (energioportantoj).

La homaro bezonas pli kaj pli elektran energion, tial estas grava esplorenda tereno, trovi pli kaj pli efikajn kurentofontojn. Ankaŭ nuntempe la inĝenieroj esploras malpli danĝerajn, medioprotektajn energiofontojn. Tiuj proprecoj almenaŭ tiel gravaj, kiel ties efikeco. Simile estas grava, kiom kostas produkti elektran energion. Plejofte, ne mem la produktado de la elektra energio estas la plej moltekosta relative, sed konservi tiun amase dum multa da tempo.

Elektran energion oni povas produkti diversmaniere. Laŭ la fizikaj bazscioj ni povas konstati, ke la plej disvastiĝinta manieroj estas la magneta kaj kemia manieroj. Ĉi tiuj manieroj signifas nur la rektan teknikan manieron, sed evidente, ke ekz. por la magneta maniero oni bezonas ian alian energiafonton por fari fluksoŝanĝon. Movigi bobenon en magneta kampo oni uzas mekanikan energion. Ĉi tiu mekanika energio povas estiĝi ekz. el termikenergio (vapor-, aŭ gasenergio), aŭ rekte el akvo, el vento (*kinetika energio*) /pro movo/. Mem la termika energio simile povas estiĝi ekz. el diversaj bruligmaterioj, aŭ el nuklea energio. Ni povas listigi plu, sed la esenco estas tio, ke hodiaŭ plejparte oni ne rekte produktas elektran energion. Por rekte produkti elektran energion ebligas la kemia metodo. La teknologio ankaŭ en ĉi tiu tereno evoluas, kaj jam ekzistas uzataj, krom la kemia metodo aliaj rekte produktantaj teknikaĵoj, ekz. la t.n. *sunĉeloj*, kiuj rekte el la sunradio produktas elektran energion. En ĉi tiu libro ni okupiĝas nur pri la principoj de tiuj manieroj, per kiuj oni povas produkti elektran energion. La konkretaj teknikaĵoj apartenas al aparta tereno speciala de la elektrotekniko.

La suba tabelo resumas la produktotipojn de elektra energio.



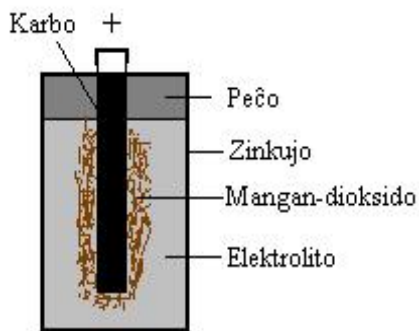
Figuro 1. Produktotipoj de la elektra energio

Kemiaj kurentofontoj

La kemiaj kurentofontoj la kemiajn reakciojn rekte transformas al elektra energio. Ĉe la kemiaj kurentofontoj ni diversigas du ĉefajn tipojn. Estas t.n. primeraj kaj t.n. sekundaraj elektrofontoj. La grava diferenco inter tiuj estas tio, ke en la primera kurentofontoj la energio ne reprodukteblas. En la sekundaraj kurentofontoj la elektra energio reŝarĝebla, la elektrokemia reakcio reigebla.

a) Piloĉelo, pilo, baterio primera

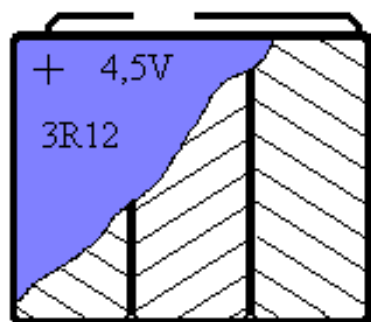
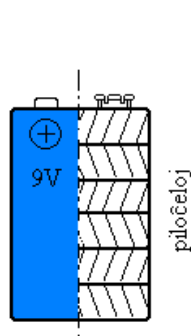
La jam konata galvana kurentofonto ne estas utila por la praktiko, pro ĝia komplika uzado. La *pilo* (seka kurentofonto) en tio diferencas de la galvana kurentofonto, ke por la facila uzado, transportado ktp., la elektrolito estas neflueca. La plej disvastiĝantaj piloĉeloj (Leclanché-piloj) konsistas el du elektrodoj kaj el la elektrolito. Ties tensio estas ĝenerale 1,5 V. La pozitiva elektrodo povas esti ekz. el karbo-stangeto. La negativa elektrodo zinko, kiu estas mem la ujo de pilo. La elektrolito estas hidrosolvaĵo amonio-klorida, aŭ magnezio-klorida, kiun solvaĵon oni miksas kun faruno kaj amelo. La tiel farita ĝelo jam plifacile prilaborebla kaj uzebla ol la likvaĵo en la galvana kurentofonto. Vidu la Figuron 2.



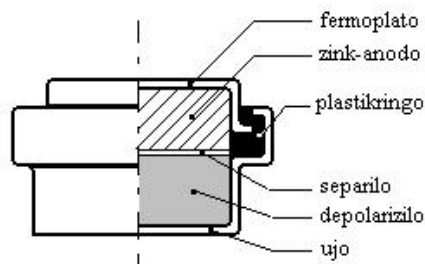
Figuro 2. Piloĉelo

Ĉirkaŭ la karboŝtangeto estas mangan-dioksido. Pro tio estas bezonata la mangan-dioksido, ĉar dum la reakcio kemia, estiĝas ankaŭ hidrogeno ĉirkaŭ la karbo kaj tion devas ligo. La estiĝanta hidrogeno pro ĝia polarado maligas funkcii la piloĉelon efike. La mangan-dioksido per la ligo de hidrogeno depolarigas. Atingi pli altan tension oni devas kunligi, serie konekti multajn piloĉelojn, tiel la tensioj adiciĝas. Dum la uzado malŝargi la piloĉelojn estas proponata nur ĝis 0,75 – 0,8 V tensio. Pro plia malŝargo la piloĉelo difektiĝas, fariĝas truo sur la zinkujo kaj la elektrolito povas elflui. La elfluaĵo, krom la mordado (korodado) okazigas ankaŭ mediomalpurigadon.

En la praktiko oni produktas pilojn ankaŭ el aliaj materioj kaj elektrolitoj, kaj mem la formo de piloj estas diversaj. Laŭ formo la plej konataj estas la cilindroformaj kaj la butonformaj. El la bazformaj piloĉeloj oni konsistigas kurentofontojn, havantajn pli alatajn tensiojn. La multipilajn konsistaĵojn oni nomas *baterio*.



Figuro 3. Mulpiloĉelaj baterioj



Figuro 4. Buton-piloĉelo

Je la komenco de la 1960 jaroj okazis grava evoluo. Oni konstruis la piloĉelon *baza mangan-dioksido*, kiu piloĉelo estas „elturniga Leclanché-pilo”. Ĉi tie la la zinkanodo estas meze kaj la mangan-dioksido estas mem la ujo. Estas konataj kaj uzataj jam delonge ankaŭ la t.n. *hidrarg-oksidadaj* piloj. Ĉefe por militaj celoj ĝi estis konstruata, sed la miniaturigado okazigis por tiuj tipoj elanan evoluon.

Ni povas listigi plu la tipojn, sed ĉi tiu klariga volumo ne estus sufiĉa por la kompleta pristudo. En ĉi tiu temo ekzistas faklibroj, kaj kleriglibroj koncerne nur pri ĉi tiuj kemiaj elektrofontoj. Se vin interesas la temo pli detale, bonvolu interesiĝi el ĉi tiuj faklibroj.

Kelkaj ekzemploj pri la kemia reakcio, laŭ la enhavaj materioj kaj elektrolitoj:

Tipo: $\text{Zn} \mid \text{NH}_4\text{Cl} \mid \text{MnO}_2$

Negativelektrodo: Zn (zinko)

Pozitivelektrodo: MnO_2 (mangan-dioksido)

Elektrolito: NH_4Cl (amonia klorido)

Energioprodukta reakcio: $\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} = [\text{Zn}(\text{NH}_3)_2] + 2\text{MnOOH}$

Tipo: $\text{Zn} \mid \text{KOH} \mid \text{MnO}_2$

Negativelektrodo: Zn (zinko)

Pozitivelektrodo: MnO_2 (mangan-dioksido)

Elektrolito: KOH (kalia-hidroksido)

Energioprodukta reakcio: $\text{Zn} + 2\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{MnOOH} + \text{ZnO}$

Tipo: $\text{Zn} \mid \text{KOH} \mid \text{HgO}$, aŭ $(\text{Cd} \mid \text{KOH} \mid \text{HgO})$, aŭ $(\text{In} \mid \text{KOH} \mid \text{HgO})$

Negativelektrodo: Zn (zinko), aŭ Cd (kadmio), aŭ In (indio)

Pozitivelektrodo: HgO (hidrarg-oksido)

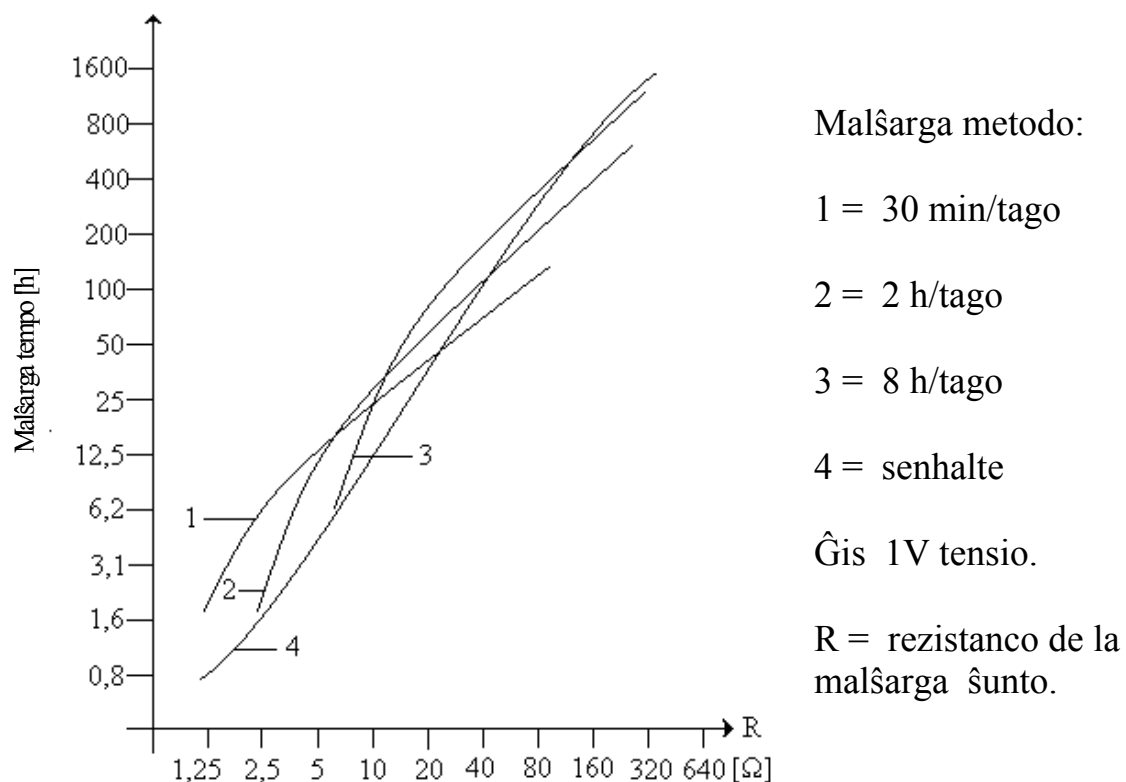
Elektrolito: KOH (kalia-hidroksido)

Energioprodukta reakcio: $\text{Zn} + \text{Hg} + \text{ZnO}$

Krom la supraj hidrosolvaĵaj piloĉeloj estas konataj ankaŭ la organiksolvajaj kaj la solidelektrolitaj piloĉeloj.

El la vidpunkto de uzantoj estas grava indiko, krom la tensionivelo kaj formotipo, la kapacito de piloj. Ju pli granda la kapacito de pilo, des pli ĝi ŝarĝebla, uzebla ĝis pli longa tempo. La eluzada tempo dependas de diversaj indikoj, krom la enhava kapacito. Tio dependas ekz. de la temperaturo, de la daŭra aŭ intermita uzado. Dependas de la periodoj de la intermita uzado. Dependas de ŝuntrezistanco ktp.

Por ekzemplo, pri la malŝargaj indikoj de la R20 tipa pilo, vi trovos informojn en la suba ecaro.



Figuro 5. Malŝargiĝa ecaro de R20 pilo.

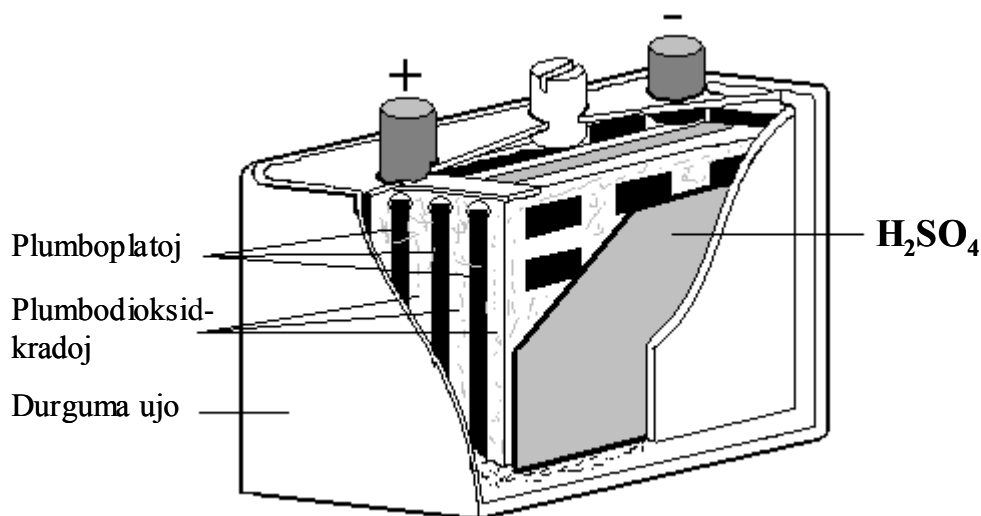
La sekvanta tabelo enhavas datenojn pri la plej konataj piloj kaj baterioj.

Internacia IEC signo	Internacia nomo	Nominala tensio [V]	Nominala kapacito [Ah]	Mezuro [mm]
R1	Lady	1,5	0,3	Ø 12 X 30
R03	Mikro	1,5	0,4	Ø 10,5 X 44,5
R6	Mignon	1,5	0,8 ... 1,1	Ø 14,5 X 50,5
R10	-	1,5	1,2	Ø 21,5 X 37
R12	-	1,5	1,9 ... 2,2	Ø 21,5 X 60
R14	Baby	1,5	2,0 ... 3,2	Ø 26 X 50
R20	Mono	1,5	4,5 ... 8,0	Ø 34 X 61,5
R22	-	1,5	6 ... 10	Ø 34 X 82
2R10	Duplex	3	1,2	Ø 21,5 X 74
3R12	Normal	4,5	1,9 ... 2,2	62 X 22 X 67
2R22	-	3	6 ... 10	67 x 34 X 83
6F22	-	9	0,24	26,5 X 17,5 x 48,5

b) Akumulilo, sekundara kurentofonto

En difina okazo la kemiaj reakcioj estas returnigeblaj. Sur ĉi tiu fenomeno baziĝas la funkciado de akumuliloj. Do, *post la malŝargo la akumulilo estas ŝargebla refoje el kurentofonto*. La eltrovo de la akumulilo estas dankinda al G. Planté, kiu en 1859 dum la polarigaj esploroj divenis, se li metas du plumboplatetojn en sulfuracidon (10%), kaj kontaktigas tiujn al pilo Bunsen, la pozitivpolusa plateto bruniĝas, la negativpolusa puriĝas. Post la diskontaktigo de pilo li povis mezuri ĉ. 2V tension inter la du plumboplatetoj. Dum la pluaj esploroj li decidis, ke la kapacito dependas de la surfaco de plumboplato, kaj de tio, kiom dika tavolo bruna estiĝis pro la kurento ŝargiga sur la surfaco de la plumboplato. Ankaŭ tio estas esplorite, ke la tavolo per la ŝargo kaj malŝargo estas dikigebla, sed nur ĝis decida volumo. Ĝis la praktike uzebla akumulato la homaro devas atendi ankoraŭ 20 jarojn. La uzeblan formon determinas tiu fakto, ke la elektrolito estas flueca maldensita sulfuracido (H_2SO_4), aŭ ĉe la baztipa akumuliloj estas kalio-hidroksido (KOH). Ĉi tiuj kemikaĵoj estas danĝeraj, kaj por la vivorganoj, kaj por la medio. Ankaŭ la uzataj elektrodoj el plumpo estas malpuraĵoj por la medio, kaj danĝeraj por la homa vivorgano. Tial la ujoj de la akumuliloj devas esti el tiaj materioj, kiuj povas kontraŭstari la

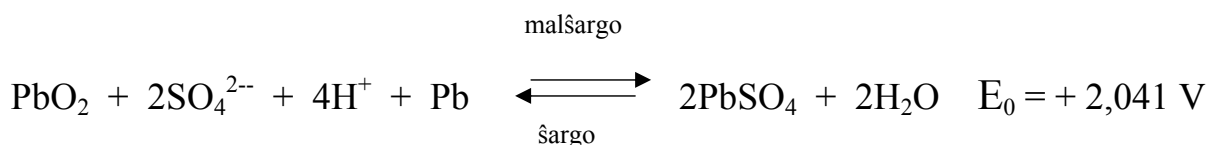
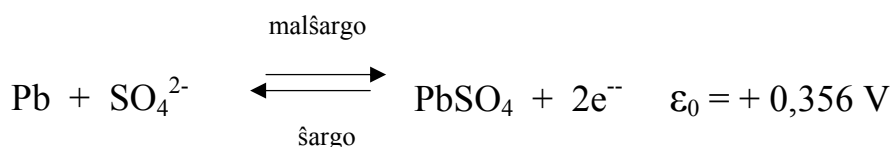
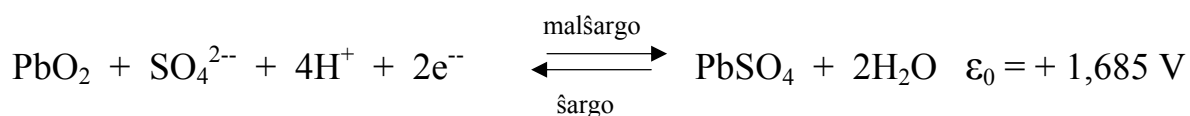
kemiajn impresojn de la elektrolitoj. La plejofte uzataj materioj por la akumuliloj estas ekz.: vitro, plastiko, durgumo. Pri la konstrukto vi povas vidi ekzemplon sur la Figuro 6.



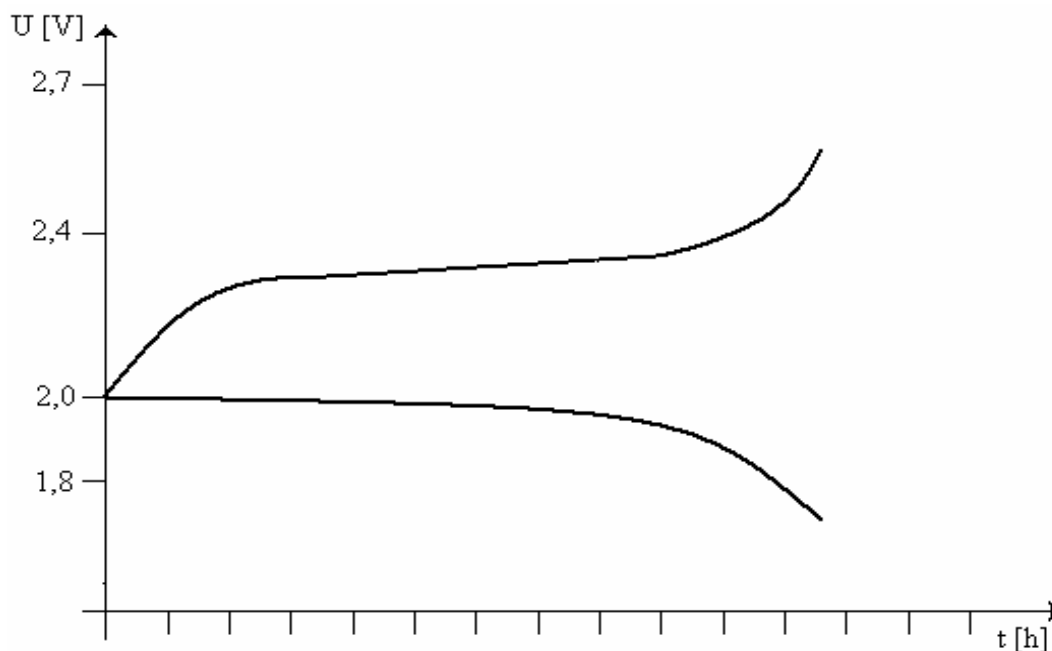
Figuro 6. Plumboakumulilo

Pro la kurento okazas kemia reakcio en la akumulilo, la elektra energio transformiĝas al kemia energio. Ĉi tiun eventon oni nomas *ŝargo*. La ŝargita akumulilo servas kiel kurentofonto, kiel galvanana pila. Ĉi tiam la kemia energio transformiĝas al elektra energio. Ĉi tiun eventon oni nomas *malŝargo*. Por kompreni la funkciadon de la akumulilo, ni esploru detale la eventojn sur la elektrodoj. La eventon klarigas la t.n. duobla sulfat-teorio. Ĝis la fino de malŝargo estiĝis plumb-sulfato sur ambaŭ elektrodoj.

Jen la reakcioj tien kaj ren:



Laŭ la spertoj, se la akumulilo estas sen uzado kaj tio ne estas ŝargita, depende de la senuzada tempo estiĝis pli kaj pli dika sulfato sur la platoj, kiuj sulfatoj jam ne estas forigeblaj per ŝargo. El la reakcioformulo videblas, ke la elektrolito partoprenas en la reakcio kurentofara, tial ŝanĝiĝas la denseco de la sulfuracido dum la ŝargo kaj malŝargo. Dum la ŝargo sur la katodo eliĝas hidrogengaso, tial la akumulatorojn permesas ŝargi nur en bone ventumita ĉambro. En ĉi tiu ĉambro estas malpermasate uzi flamon. La hidrogeno eliĝas el la akvo, tial la akvonivelo de la elektrolito malaltiĝas. Foje estas bezonata plenigi la akvon. *En la akumuliloj oni uzeblas nur distilitan akvon.* Sur la sekvanta ecaro vi povas vidi indikojn pri la ŝargo kaj malŝargo.



Figuro 7. Ecaro pri la ŝargiĝo kaj malŝargiĝo de la plumboakumulilo

Dum la malŝargo estiĝas krom la plumbsulfato ankaŭ akvo. Ĉar la denseco de akvo estas nur 70%-o ol tiu de sulfuracido, la ŝargonivelo estas *mezurebla kun la determino pri la denseco de elektrolito*. La nominala tensionivelo po akumulatorĉelo estas 2V. Se estas bezonata pli alta tensio, devas multoblige la ĉelojn serie. La tensionivelo dependas ankaŭ de la momenta ŝargiĝa nivelo kaj de la ŝuntograndeco. Kiel la ecaro montras la tensionivelo komence de la ŝargo rapide altiĝas super la nominalan 2V tensionivelon, kaj poste lineare altiĝas ĝis 2,4V. Kiam la ŝargo atingas la 2,4V nivelon, komenciĝas la gaseliĝo sur la surfacoj de elektrodoj kaj la tensionivelo rapide altiĝas ĝis 2,7V. Dum ĉi tiu lasta ŝargoperiodo devas malaltigi la intencon de la ŝargokurento, ĉar la forta gaseliĝo damaĝas la elektrodojn. La ŝarga tensionivelo estas ĉiam pli alta ol la

malŝarga tensio, ĉar ankaŭ la akumulatorĉelo havas enan rezistancon. La malŝargo estas pli simpla afero. Ĝis la 60% de la malŝarga tempo la tensionivelo restas proksime al la nominala 2V, kaj poste komenciĝas la lanta malaltiĝo de tensionivelo. Tiam estas malŝargita la akumulatorĉelo, se la tensiomalaltiĝo atingas la 1,83V nivelon. La akumulatorojn oni tipigas laŭ siaj kapacito. Ĉi tiu kapacito estas tiu ŝarga kvanto, kiun povas eligi dum la malŝargo. La kapaciton determinas la malŝarga kurentointenso kaj la malŝarga tempo.

Do:

$$K = I \cdot t$$

Laŭ la sperto la tutan kapaciton nur tiam eblas elpreni, se la malŝargo daŭras longe. Je trorapida malŝargo la elektrodplatoj ne aktiviĝas sur siaj tuta surfaco en la reakcio. Ĉi tio estas vera ankaŭ je la rapida ŝargo, kun tre intensa ŝargokurento. La plumboakumulatoroj povas efike funkcii inter -40°C kaj $+50^{\circ}\text{C}$ temperaturo. La optimala temperaturo estas inter $+10^{\circ}\text{C}$ kaj $+45^{\circ}\text{C}$ gradoj. La elektrolito de la ŝargita akumulatoro glaciigĝas je -70°C , kaj malŝargiĝe jam je -5°C .

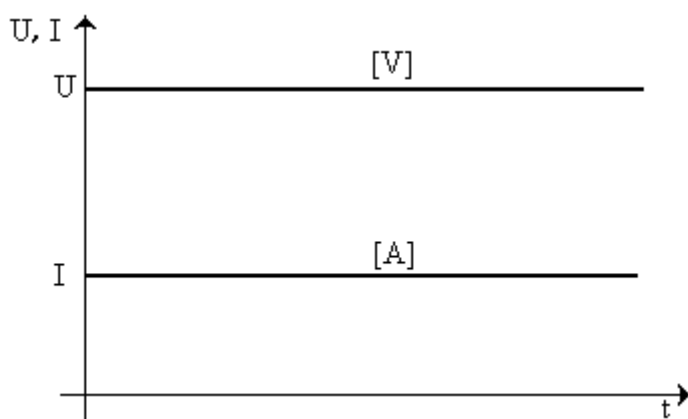
Ekzistas ankaŭ bazelektrolitaj akumulatoroj. Grava diferenco inter la du tipaj akumulatoroj, ke la bazelektrolitajn akumulatorojn senuzade ne damaĝas, se tiuj ne estas ŝargitaj. La malŝarga minimuma tensionivelo estas pli malalta, tio estas 1,2 V. La rendimento de la bazelektrolitaj akumulatoroj estas malaltaj ol tiu de la acidelektrolitaj kaj iliaj kapacito estas tre influemaj pro la temperaturo. La elektrodoj de ĉitipaj akumulatoroj estas faritaj ne el plumbo, sed ekz. fer-nikelo (Fe-Ni), zink-argento (Zn-Ag) ktp. La aliaj datenoj estas similaj ĉe ambaŭ tipaj akumulatoroj.

Por laboristprotektada vidpunkto estas grava sciendaĵo, ke labori per akumulatoroj oni devas uzi defendilaron kaj specialajn laborvestaĵojn. Kaj la acido, kaj la bazo povas okazigi gravajn vundiĝojn sur korpo. Pro la denseca diferenco de la akvo kaj acido/bazo, ĉiam la akvon devas verŝi en la acidon/bazon, ĉar alimaniere okazigas elŝprucon.

En la sekvanta tabelo vi povas vidi indikojn pri konkretaj tipoj de plumboakumuliloj.

Tipo	Energioenhavo		
	Wh/kg	Wh/l	Dum malŝarga tempo
Maŝin-ekfunkciiga (aŭtomobilo)	26 ... 48	48 ... 110	20h
Veturil-funkciiga (elektra aŭtomobilo, puŝĉaro)	20 ... 40	65 ... 85	5h
Lokumitaj, kun antimonhava krado	10 ... 21	17 ... 50	8h
Lokumitaj, kun kalciohava krado	12 ... 21	25 ... 50	8h
Lokumita, kun Planté-platoj	9 ... 15	14 ... 35	8h
Hermetikaj, malgrandaj, por (portebaj aparatoj)	25 ... 30	70 ... 90	20h

La supre studitaj kurentofontoj donas t.n. unudirektan kurenton. Oni povas diri ankaŭ tiel, ke la tensiopolusoj ne ŝanĝiĝas, tial la kurento estas unudirekta. La sekvanta ecaro prezentas la kontinutipan unudirektan kurenton kaj tension koncerne al la tempo. La grandeco de la tensio kaj kurento povas variigi depende de la malŝargiĝo de kurentofonto kaj mem de la ŝarĝonivelo.



Figuro 8. Ecaro pri la kontinutipa unudirekta kurento kaj tensio

Mekanikaj kurentofontoj

En la komenco oni uzis nur kemiajn kurentofontojn. Sed vane tiuj kemiaj kurentofontoj estis pli kaj pli modernigitaj kaj pli kaj pli efikaj, la evoluantan energian bezonon jam ne povis plenigi. Kiam estis jam esploritaj la magnetaj impresoj, la sciencistoj ellaboris la mekanikajn kurentofontojn, uzantaj tiuj la magnetan impreson kun movo.

a) Generatoro

Se oni turnigas konduktilkvadraton en homogena magnetika kampo, en tiu kvadrato indukiĝas tensio. Figure 9. Evidente, ke en la praktiko oni aplikas ne unu konduktilkvadraton, sed multvolvan bobeno. En la komenco oni uzis por la instigo permanentan magneton. Sed por produkti grandan povecon jam ne estis sufiĉa tiu magnetika intenco, kiun povas doni la permanenta magneto. Tiam jam estis konata, ke eblas la eksciton krei ankaŭ per induktilo (bobeno) enkonduktite kurenton el iu kemia kurentofonto. Tiun mekanismon, per kiu oni povas produkti elektran energion el mekanika energio oni nomas *generatoro*.

Mekanike la generatoro konsistas el du partoj. Havas ĝi t.n. rotacian parton (*rotoro*), kaj nemovan parton (*statoro*). Laŭ la impresoj estas tute egala, en kiu parto estas indukata la tensio. La funkciadon eblas klarigi kun la moveca indukto. La ekscitan bobeno, kiu kreas la magnetan kampon povas esti lokumi aŭ sur la rotoron, aŭ sur la statoron. Se la ekscita bobeno estas sur la statoro, tiam la tensio indukiĝas en la rotacia konduktilkvadrato. Se la ekscita bobeno estas mem la rotoron, tiam la tensio indukiĝas en la statora bobeno, kiam la rotoron turniĝas. La rezulto en ideala cirkonstanco estas egala. La esenco estas tio, ke la konduktilkvadrato kaj la magnetika kampo movas rilate unu de la alia. La indukatan kurenton oni povas elkondukti el la rotacia armatura bobeno tra kontaktringoj, pere de frotiloj.

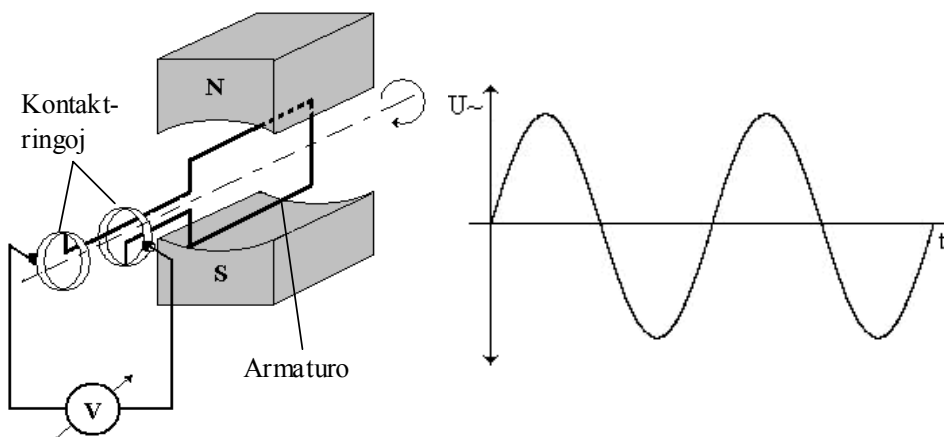


Figure 9. Generatoro.

La indukata tensio estas kalkulebla kun la jam konata formulo.

$$U_i = B \cdot l \cdot v$$

Pro la mekanika konstrukto la konduktilo kaj la magneta kampo estas perpendiklaj unu al la alia. Se la rotacio (*rivolunombro*) estas stabila dum sekunda periodo, tiam ankaŭ la perimetra rapideco $v = \pi \cdot D \cdot n$ estas stabila (la rapideco estas konstanta). Estas evidente, ke la l konduktillongeco ne ŝanĝas dum la rotacio. Tiel la indukata tensio dependas nur de la disiĝo egala de B indukto sur rotacia surfaco.

Kiel vi povas vidi sur la figuro, ĉi tiu tensioformo estas ne unudirekta, kiel ĉe la kemiaj kurentofontoj. Per kemiaj kurentofontoj oni povas produkti nur uditension. Per la magnetomekanikaj aŭ per la elektromekanikaj kurentofontoj, *generatoroj* oni povas produkti ankaŭ ambaŭdirektan tension. Tian tipan tension kaj al tiu apartenantan kurenton, oni nomas *alterna* tensio kaj kurento. Per la polusformoj oni povas atingi, ke la tensio proksimiĝu al la idela sinusa formo. Por diferencigi la ekscitan kaj indukantan bobenojn oni nomis *armaturo* (induktato) tiun bobenon, en kiu indukiĝas la tensio. La alterna tensio, kurento havas signifan identodatenon, kiun oni nomas *frekvenco*, kaj signas kun la litero f . Tiu frekvenco prezentas tion, ke kiomfije ŝanĝas direkton la tensio, kurento dum unu sekundo. Ĉe la elektromekanikaj aparatoj (generatoro, motoro) oni kalkulas ne kun la frekvenco, sed kun la dumsekunda revolunombro. Tiu revolunombro estas signata kun la litero n . Kalkuli la alternan tension vi povas laŭ la sekvanta formulo.

$$U_i = 2\pi \cdot f \cdot N \cdot \phi$$

Sed kiam oni kalkulas kun la alterna tensio ĝenerale uzas la t.n. *efektivan* valoron.

$$U_{ief.} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N \cdot \phi$$

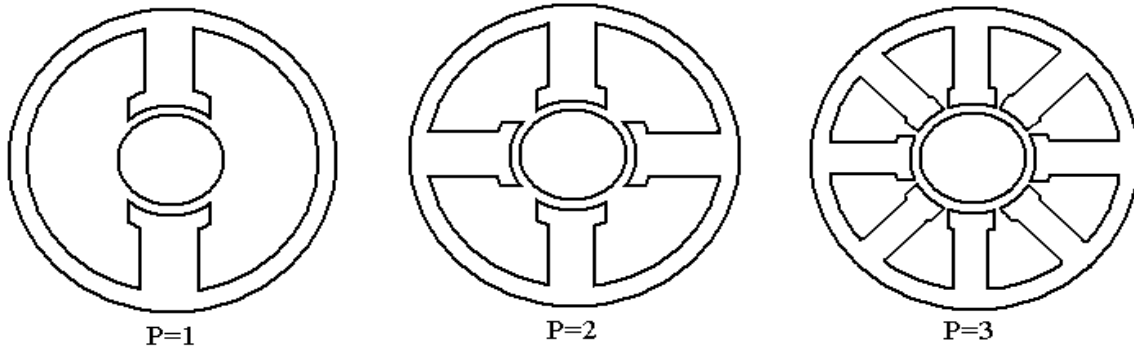
La $\frac{2\pi}{\sqrt{2}} = 4,44$, tiel la formulo plu redukte estas:

$$U_{ief.} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \phi$$

La frekvenco (revolunombro) dependas de la rotacia rapideco kaj de la polusnumero. La polusojn oni kalkulas pare (N-S), kaj signas kun la litero p . Do, se $p = 1$, la polusoj estas du, estas unu polusparo. Figuro 10.

Ĉe la dupolusaj generatoroj ($p = 1$, la frekvenco (f) kaj la revolunombro (n) estas egalaj. Ekz. $f = 50\text{Hz}$, tiam la $n = 50 \text{ 1/s}$.

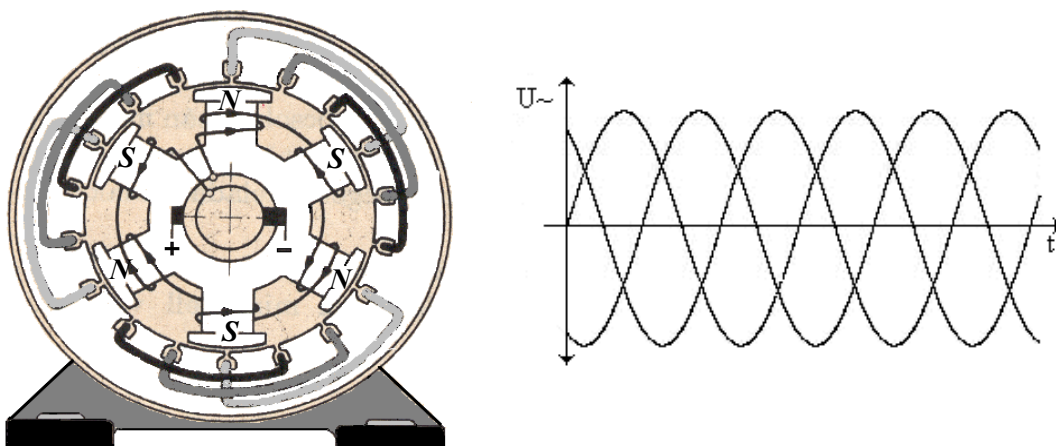
$$n = \frac{f}{p}$$



Figuro 10. Polusparoj.

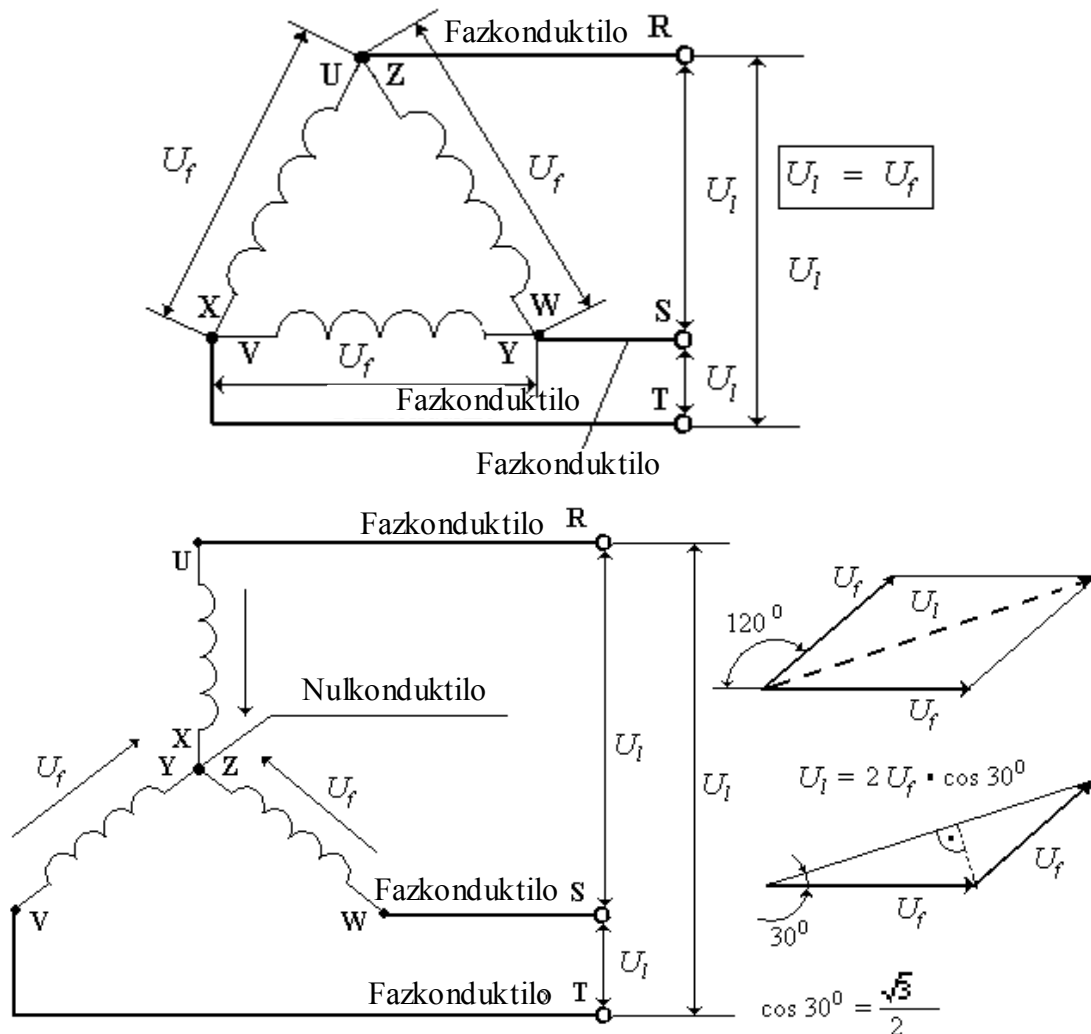
En la energia produktado por la alterna kurento oni aplikas plejparte la t.n. *sinkrongeneratoron*. Ĝia nomo devenas el la funkcia maniero, la frekvenco estas en rigida kontakto kun la revolunombro. La generatoro povas rotacii nur laŭ la difina frekvenco. La komuna energia sistemo havas 50Hz-an frekvencon, sed ekz. en usono la reta komuna frekvenco estas 60 Hz.

Se en magneta kampo samtempe rotaicas pli ol unu bobeno, kies bobenabenoj situas unu de la alia kun φ angulo, indukiĝas samfrekvencaj, sed malsamfazaj tensioj. Se la bobenojn oni kunigas, rezultiĝas la **multfaza kurentoreto**. Pro la teknikaj kaj ekonomiaj favoroj oni aplikas la t.n. trifazan kurentoreton. En la trifaza generatoro la armaturaj bobenoj situas en la spaco unu de la alia je 120° grada angulo. Vidu la figuron 11!



Figuro 11. Trifaza generatoro kun trifaza sinusondo.

La armaturajn bobenojn en la multfaza generatortro oni nomas *fazbobenoj*. La indukatan tension po bobeno oni nomas *faztensio* (U_f). Inter la faztensioj oni povas mezuri la *liniotension* (U_l), kies intenco varias laŭ la konektoformo de bobenoj. Oni diferencal t.n. *triangulan* kaj *stelan* konektoformon. Figuro 12. En la triangula kurentoreto la linia tensio egalas kun la faztensio - $U_l = U_f$. Ĉe la stelforma kurentoreto la linia tensio kalkuleblas el la vektora rezulto de du faztensioj.



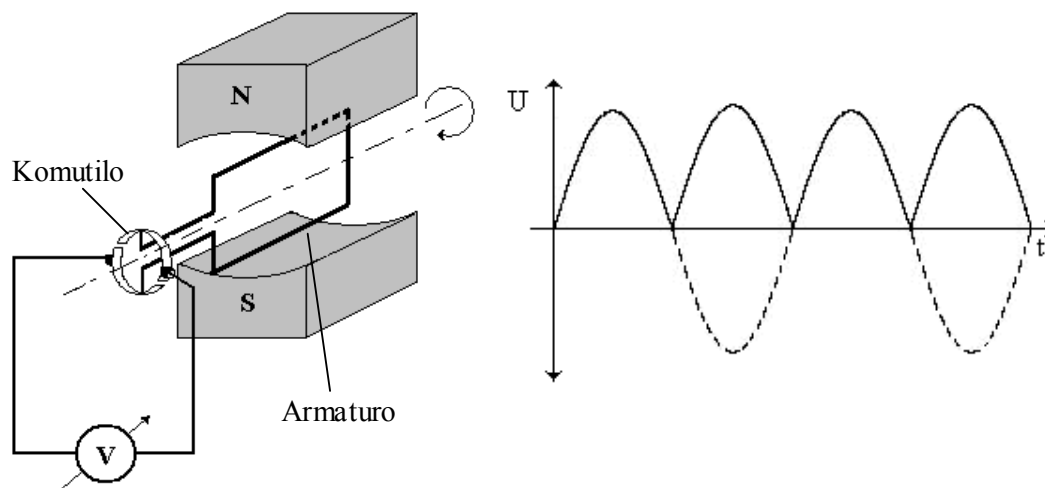
Figuro 12. Trifaza tensio.

$$U_l = \sqrt{3} \cdot U_f$$

La fazojn oni diferencigas kun la literoj **R, S, T**. La konektpunktoj de ĉiuj armaturbobenoj havas difinajn nomojn laŭ la literoj pare, **UX, WY** kaj **VY**. La generatoroj, kiuj nutras la komunan landan kurentoreton, produktas ĝenerale 5...10 KV tension. La kurentouzantoj, konsumantoj ricevas nur 220V grandan

tension laŭ faze. La linia tensio trifaza ĉe la konsumantoj estas 380V. Inter la konsumantoj kaj la elektoenergiaj produktoj estas alttensia kurentoreto por la pli efika kurentotransportado. Ĉi tiu kurentoreto povas havi multcentvoltan tension.

Eblas produkti ankaŭ unudirektan tension per generatoro, sed tiu tensio ne estas ideale kontinua, sed ĝi *fluktuas* laŭ la nombro de polusoj. Por produkti tian fluktuan tension oni devas nur alimaniere konektigi la konduktilkvadraton. Figuro 13.



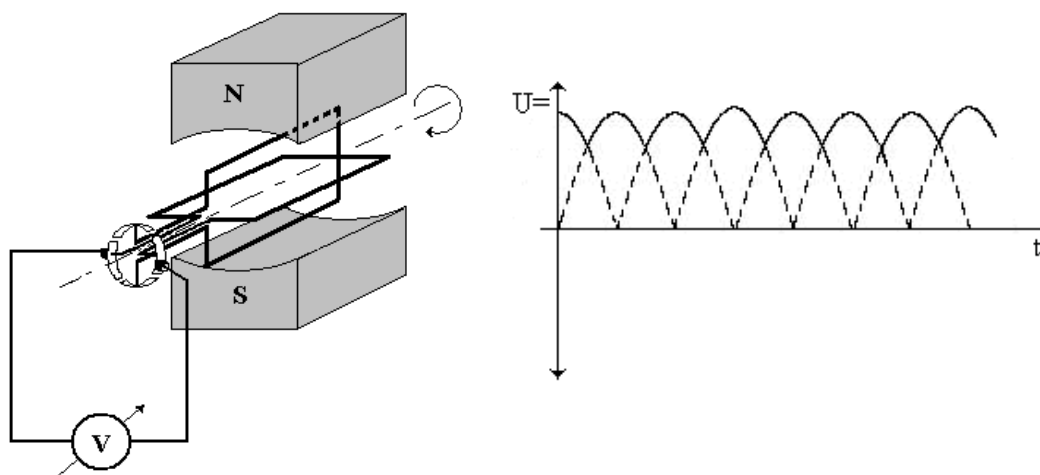
Figuro 13. Unudirekt-kurenta generatoro

Tiun kontaktmekanisman al kiu estas konektitaj la bobenoj, oni nomas *komutilo*.

La komutilo estas mekanika rektif(ig)ilo.

La unubobena armaturo ne estus efika, tial oni konstruis multbobenajn, *multpolusajn* generatorojn. La bobenoj de polusoj estas konektitaj al *ringspecoj*. Tiel oni povas produkti tian unudirektan tension, kiu ne tro fluktuas. Figuro 14. Dum la rotacio la bobenoj, kiuj estas konektitaj al ringspecoj, nur malmulta da tempo kontaktiĝas al la kontaktilo tiam, kiam la indukata tensio estas la plej intensa. Tiel la bornotensio estas „stabila”. Ju pli multa la nombro de la bobenoj, des pli senfluktua la indukata tensio. La kontaktilon oni nomumas *frotilo*. Tiu frotilo povas esti el karbo, aŭ el bronzo laŭ la bornopoveco. La indukata tensio valoras laŭ la sekvanta formulo.

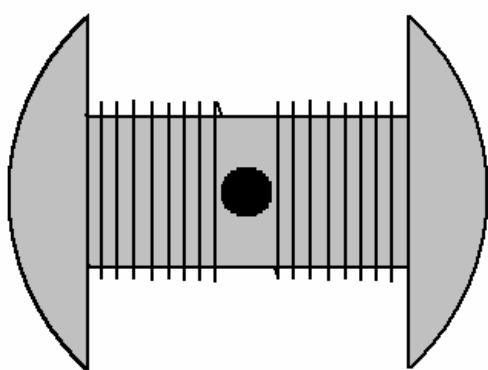
$$U_i = c \cdot n \cdot \phi \quad , \quad \begin{array}{l} n = \text{rivolunombro, } \Phi = \text{flukso,} \\ c = \text{maŝinkonstanto (4,44; N; p; volvofaktoro)} \end{array}$$



Figuro 14. Multipolusa generatoro

b) Dinamo

La esploristoj ne povis akcepti tion, ke por la generatoro estu bezonata ankoraŭ iu alia kurentofonto. Mem la stabilan funkciigon malfaciligas la alkonektitaj kemiaj kurentofontoj, ja tiuj daŭre malŝargiĝas dum la funkciado. Foje oni devis ŝanĝi ilin. En la jaro 1861 la fizikisto Jedlik Ányos profesoro de la Sciencteknika Universitato en Pešt, elkovris la solvon. Li inventis la *dinamo-fenomenon*. Tiu dinamo-fenomeno estas mem la meminstigo. Dum la esploradoj li divenis tion, ke ne estas bezonata uzi por la generatoro permanentan magneton. La generatoro povas nutri per sia indukata tensio la ekscitan bobeno. Apud Jedlik ankaŭ Siemens, Wheatstone kaj la simile anglano Varley sukcese prilaboris la dinamo-fenomenon en la jaro 1866. La esploristoj scias tre bone, ke en ĉiu fero, tiel ankaŭ en la molfero troveblas restanta magneto (*remanenco*). La unuan magnetigon povas fari mem la tera magnetokampo, iu alia magneto, aŭ la magnetika kampo de elektra kurento. Ĉi tiu komenca



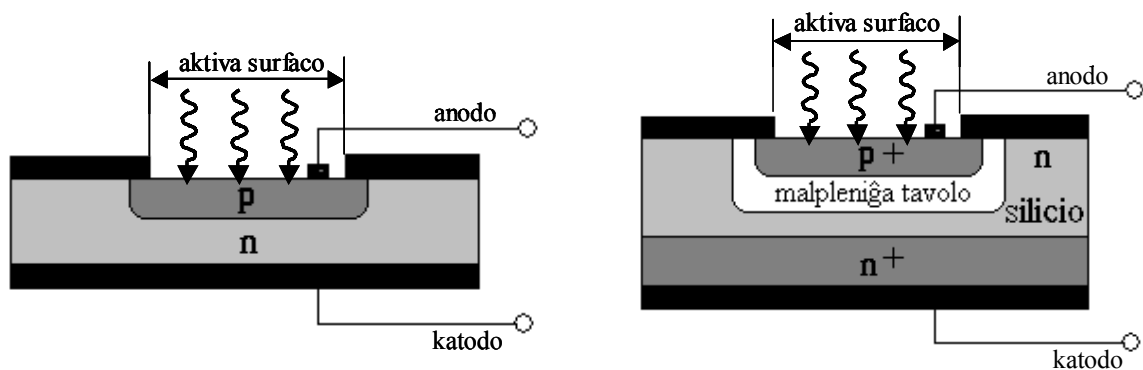
Figuro 15. „T” rotor

magnetointenso estas tre malforta, tiel ankaŭ la indukata tensio estas tre malalta. Sed kontraŭ tio, se ĉi tiun malaltan tension oni konektas al la instiga bobeno, kiu bobeno estas multvolva kaj konsistas el tre maldika drato, la magnetointenso fortiĝas iomete, kiu fortiĝo altigas la indukitan tension. La rekonektita indukita tensio tiel plu intensigas la magnetokampon, ktp. La procezo komenciĝas lante, sed pli kaj pli intensiĝas.

Post 1-2 sekundo la procezo radikale akceliĝas kaj la dinamo „plene ekscitiĝas”. La funkciada bazkondiĉo estas tio, ke la indukata energio estu grave pli granda ol la bezonata energio por la instigo. La praktikan uzeblecon plifaciligis la inventaĵo de Siemens, per la duobla T rotorformo (Figuro 15.). Sed ankaŭ ĉi tiu dinamo ne estis perfekta. Sian 1/3 povecon eluzis la memekscitigo, sed jam tiel ĝi povis funkcii. Post la diligentaj esploraj laboroj la sciencistoj atingis, ke hodiaŭ oni jam povas konstrui tian dinamon, kiu nur 1-2% eluzis el sia poveco por la ekscitigo.

Fotopilo, Sunĉelo

La *fotopilo* estas tia kurentofonto, kiu el la lumenergio rekte produktas elektran energion, *rektan kurenton*. La funkciado de la fotopilo (Speciala fotoĉelo, kiu estas konata ankaŭ kun la nomo *sunĉelo*) klarigeblas kun la *fotoelektra impresio*. La fotonoj de la sunradioj eniĝas en materion duonkonduktan, en tian tavolon, kie estas forta elektra kampo. La energio de la eniĝinta fotono kreas unu pozitivan kaj unu negativan ŝarĝojn. La elektra kampo ĉi tiun ŝarĝoparon disigas, tiel sur la elektrodoj de la sunĉelo estiĝas potencialdiferenco, do tensio. La ŝarĝoj povas refoje kuniĝi en ekstera cirkvito, tiel tiuj estas laborigeblaj. La ŝarĝomovo, la kurento (unudirekta) en la ekstera cirkvito proporcias kun la intenso de la sunradio. La ĝenerala tensionivelo de unukristala sunĉelo estas 0,6 V. Pri la strukturoj de la sunĉeloj vi povas vidi desegnaĵojn sur la sekvanta figuro.

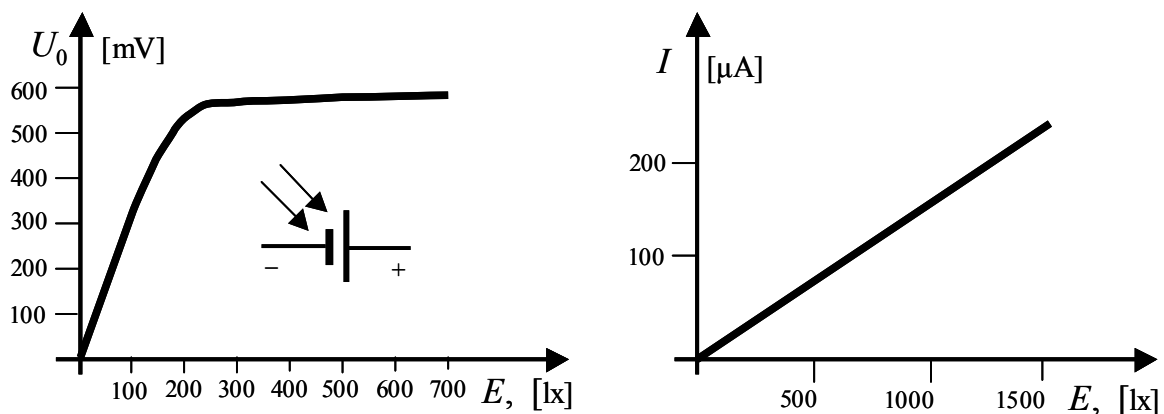


Figuro 16. Fotopilo (sunĉelo)

La unujunta strukturo funkcias bone en la praktiko, sed ekzistas aliaj teknologioj. Por la pli alta rendimento la unukristala, unujunta sunĉelo bezonas tre puran silician bazmaterion. La rendimenton de la diverstipaj sunĉeloj pluraj

cirkonstancoj influas. Estas tre grave, ke la fotonoj nur en decida frekvencointervalo povas eligi elektronojn. La eniĝintaj superintervalaj radioj transformiĝas al temperatura energio. La tre malaltfrekvencaj radioj ne povas eniĝi en la materion. Okazigas pluan perdon la rekombino de la ŝargoparoj, (elektrono-truo), antaŭ ol tiuj povus aktive agadi por fari kurenton. La respegulado desur la siliciosurfaco simile malpliigas la rendimento. La rezistanco de la uzataj materioj influas la likadon, kiun likadon kun la pli kaj pli efika teknologio (multjunta) kaj per la pli kaj pli efikaj materioj oni povas limigi. Jen kelkaj materioj uzataj en la fotopiloj: unukristalo, polikristalo, amorfsilicio, CuInSe_2 , GaAs, ktp.

La sekvantaj ecaroj montras ekzemplojn pri la karakterizo tensio kaj kurento kurtcirkvita, rilate al la lumforto ĉe la Si baza fotopilo, kaj la . En la figuro estas ankaŭ la simbolo de fotopilo.



Figuro . Karakterizoj de fotopilo

La kurento kurtcirkvita de la fotopiloj havas linearan proporcion al la intenso allumiga. La atingebla rendimento en ideala cirkonstanco estas maks. 25-30%. En la praktiko tiu estas pli malalta. La transformiĝo (lumo / kurento) estas 13%, ĉe la Si bazaj fotopiloj. Dum forta lumado la povumo povas atingi la $10\text{mW}/\text{cm}^2$ -n. Per specialaj siliciaj fotopiloj oni jam povas atingi la 20%-ajn rendimentojn. La selenobazaj fotopiloj nur dekonan rendimentojn kaj povumon havas.

Pri la aliaj tipoj de kurentofontoj ĉi tie ni ne okupiĝas detale. La teknika evolucio ne haltas, ankaŭ hodiaŭ estas esplorataj pli kaj pli novaj kaj efikaj kurentofontoj. Ĉefe la spacesplorado, la raketa kaj milita tekniko instigas la evoluon de la kurentofontoj. Krome hodiaŭ oni devas kalkuli pri la pli kaj pli altiĝa energiobezono de la homaro.