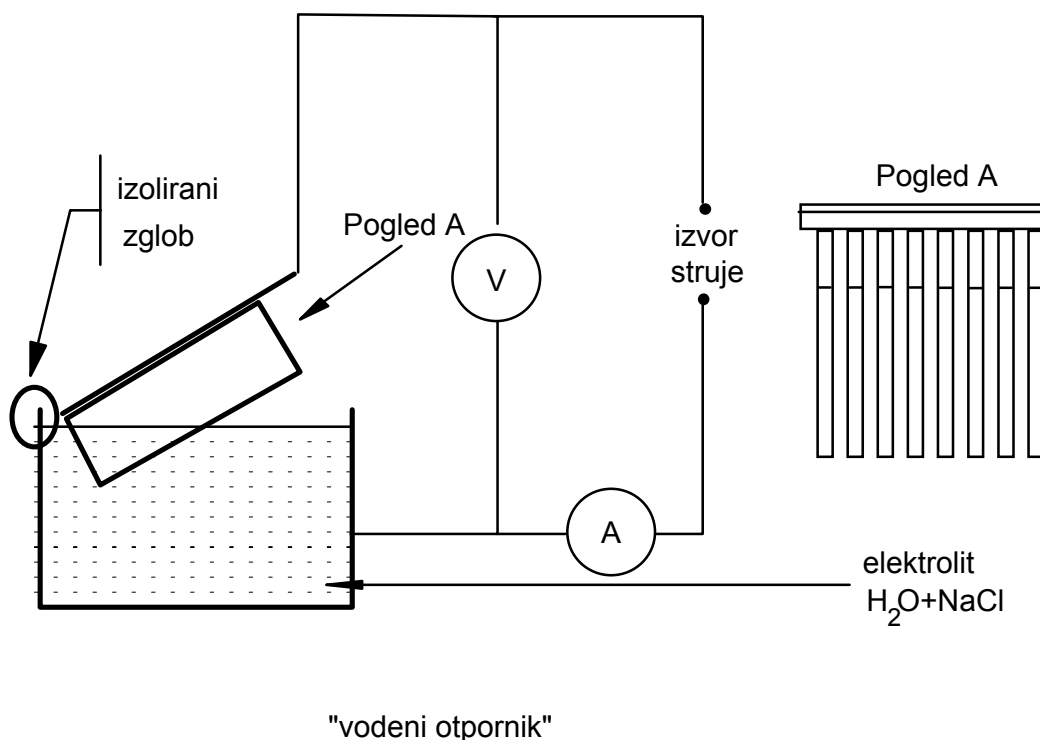


Statička karakteristika izvora struje za zavarivanje i statička karakteristika električnog luka. Regulacija visine električnog luka pri zavarivanju. Dinamička karakteristika procesa zavarivanja.

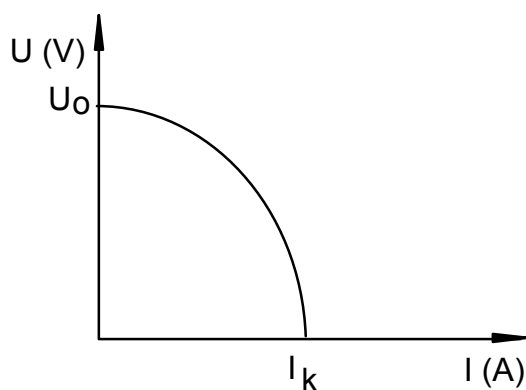
Statička karakteristika izvora struje za zavarivanje prikazuje međusobni odnos napona i jakosti struje zavarivanja tijekom djelovanja statičkog opterećenja izvora (napr. statičkog otpornika). Na sljedećoj se slici daje shematski izgled jednog takvog otpornika za snimanje statičke karakteristike izvora struje za zavarivanje.



Izvor struje se serijski spaja sa otpornikom, koji za različite položaje (veće ili manje uranjanje ploča otpornika u elektrolit) daje vrijednosti napona i jaosti struje, na osnovi čega se crta dijagram $U = f(I)$, odnosno statička karakteristika izvora struje za zavarivanje. Danas postoje moderni elektronički otpornici, puno jednostavniji i praktičniji, ali sa sličnim principom snimanja statičke karakteristike izvora struje za zavarivanje.

Izgled statičke karakteristike izvora struje za zavarivanje definira se kod projektiranja izvora struje, a za određeni postupak ili grupu postupaka elektrolučnog zavarivanja. Tijekom vremena eksploatacije izvora struje za zavarivanje treba kontrolirati njegovu statičku, ali i dinamičku karakteristiku. Dinamička karakteristika izvora struje prikazuje promjenu napona i jakosti struje kod određenog praktičnog zavarivanja. Ovisno o postupku zavarivanja, registriraju se promjene napona i jakosti struje zavarivanja do 10 ili više kHz, pri čemu se koriste različiti »monitornig sistemi« – sistemi za mjerenje, registraciju i obradu glavnih parametara zavarivanja (napona i jakosti struje).

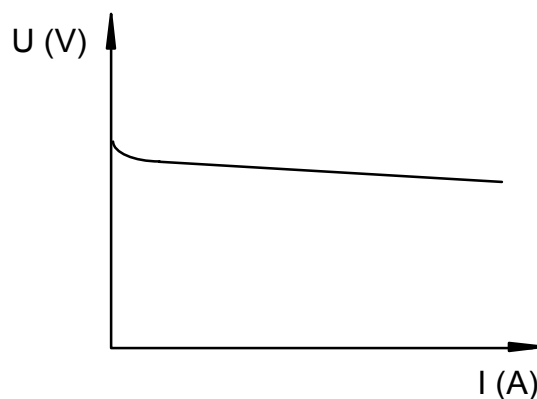
Na sljedećoj se slici daju dvije statičke karakteristike izvora struje za zavarivanje: a) strma i b) položena (ravna) statička karakteristika.



a) Strma statička karakteristika

U_0 ... napon praznog hoda, V

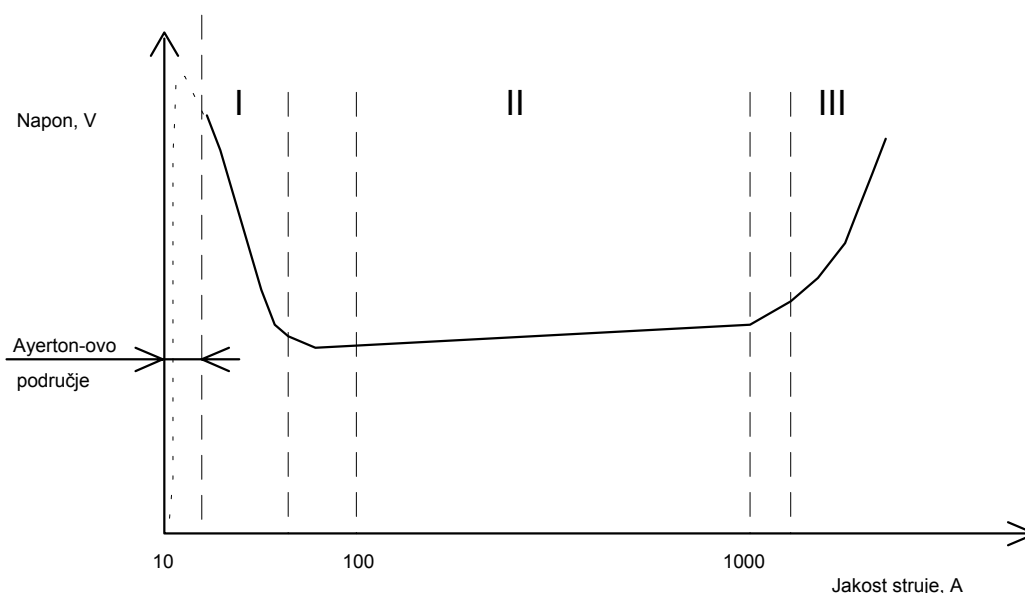
I_k ... struja kratkog spoja, A



b) Ravna statička karakteristika

Statička karakteristika električnog luka:

Zavisnost napona i jakosti struje zavarivanja u stabilnom električnom luku koji se održava između dva materijala u određenoj zaštitnoj atmosferi naziva se statička karakteristika električnog luka.



Na početku uspostavljanja električnog luka javlja se kratko i malo nestabilno područje (Ayerton-ovo područje) koje nije značajno sa stajališta zavarivanja.

Na statičkoj karakteristici električnog luka uočavaju se tri područja:

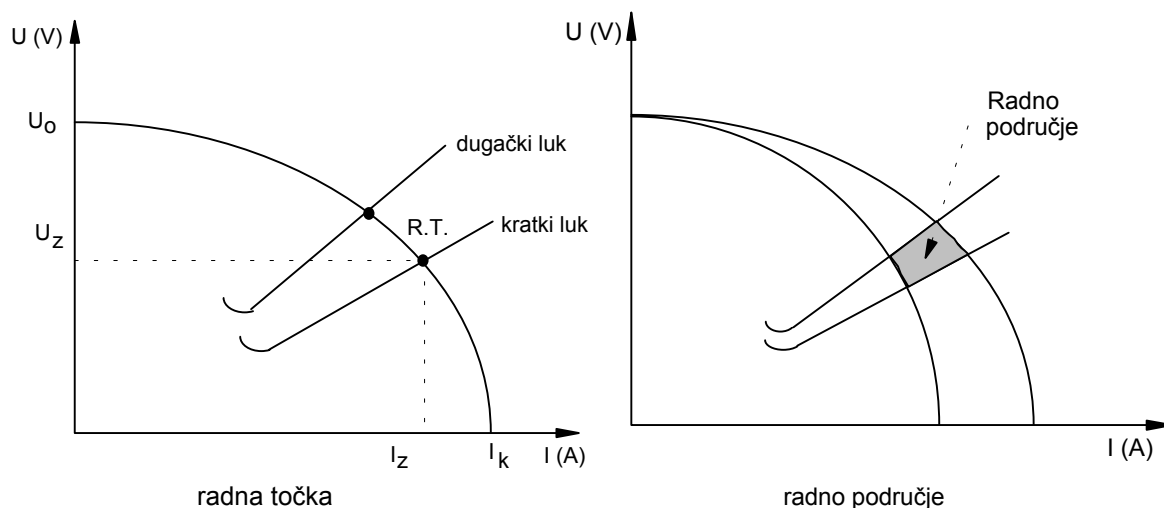
I – Područje malih gustoća električne struje, otpor u električnom luku je veliki, budući da temperatura i procesi ionizacije nisu dovoljni za emitiranje elektrona u dovoljnoj količini (a istovremeno se značajna količina topline odvodi iz električnog luka, što dodatno povećava otpor električnog luka).

U ovom području je derivacija funkcije promjene napona i jakosti struje $\tan \alpha_1 < 0$ (što znači da je to područje u kojemu je statička karakteristika električnog luka negativna ili padajuća).

II – Područje srednjih jakosti struje, karakterističnih za REL zavarivanje. Napon zavarivanja se gotovo ne mijenja sa porastom jakosti struje zavarivanja, pa je statička karakteristika električnog luka ravna ili nezavisna ($\alpha_2 \cong 0$).

III-Područje povećane jakosti struje zavarivanja i napona zavarivanja. U ovom području je derivacija funkcije promjene napona i jakosti struje $\tan \alpha_3 > 0$ (što znači da je to područje u kojemu je statička karakteristika električnog luka pozitivna ili rastuća).

Radna točka i radno područje pri zavarivanju elektrolučnim postupcima. Radnu točku pri elektrolučnom zavarivanju definiraju karakteristika izvora i električnog luka. Ona se dakle dobije presjecanjem tih karakteristika. Kada se uzme u obzir područje mogućih statičkih karakteristika izvora struje za zavarivanje i električnog luka, odnosno presjeci tih područja, dobije se tzv. radno područje zavarivanja.



Uvjet stabilnosti električnog luka može se matematički iskazati pomoću koeficijenta stabilnosti sistema K_s :

$$K_s = \left(\frac{\partial U_l}{\partial I} - \frac{\partial U_i}{\partial I} \right) I_r > 0, \text{ gdje je}$$

$$\frac{\partial U_l}{\partial I}, \frac{\partial U_i}{\partial I} \quad \dots \text{derivacija statičke karakteristike električnog luka, izvora struje za zavarivanje}$$

$$I_r \quad \dots \text{vrijednost struje zavarivanja u radnoj točki}$$

Gore navedeni uvjet stabilnosti znači da karakteristika izvora struje za zavarivanje u radnoj točki treba biti strmija od statičke karakteristike električnog luka, da bi električni luk bio stabilan.

Kod REL zavarivanja koriste se relativno male jakosti struje zavarivanja, pa je karakteristika električnog luka ravna ili nezavisna, odnosno:

$$\frac{\partial U_l}{\partial I} = \tan \alpha = 0, \text{ pa slijedi } K_s = \left(-\frac{\partial U_i}{\partial I} \right) I_r > 0, \text{ odnosno električni luk je stabilan ako je } \frac{\partial U_i}{\partial I} > 0$$

Stabilnost sistema raste kada $\tan \alpha \rightarrow -\infty$ (kada se karakteristika izvora struje u radnoj točki približava ordinatnoj osi, odnosno kada je što strmija). Iz ovoga proizilazi zaključak da je za ručno zavarivanje povoljnija strmija karakteristika izvora struje za zavarivanje.

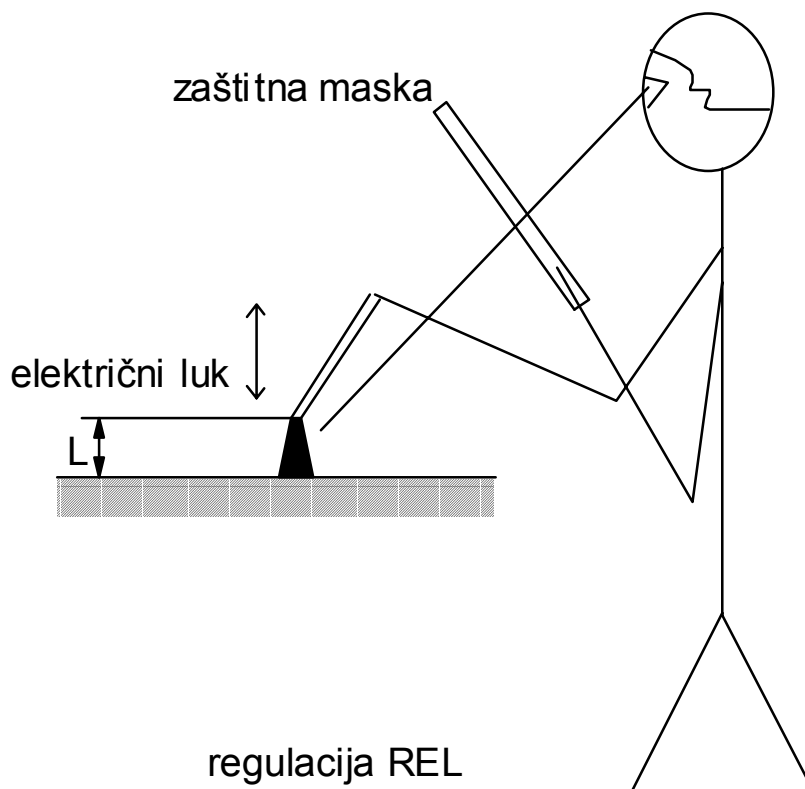
Kod automatskih postupaka zavarivanja veće su gustoće struje u električnom luku, pa se radna točka nalazi u području rastuće statičke karakteristike električnog luka. K_s je veći od nule za svaku:

$$\left(\frac{\partial U_i}{\partial I} \right) I_r \leq 0, \text{ jer je } \left(\frac{\partial U_l}{\partial I} \right) > 0$$

Drugim riječima, stabilnost električnog luka u ovom području se može postići primjenom uređaja za zavarivanje sa blagom (položenom, ravnom) karakteristikom. Za automatske uređaje za zavarivanje sa unutarnjom regulacijom povoljnija je blaga karakteristika jer se pri promjeni visine električnog luka znatno mjenja jakost struje zavarivanja. Na taj se način izaziva brže ili sporije taljenje elektrode ili žice za zavarivanje i brzo vraćanje u područje stabilnosti električnog luka.

Regulacija visine električnog luka. Pri zavarivanju je važno da visina električnog luka bude u točno određenim granicama, kako bi proces zavarivanja bio stabilan proces. Neželjene promjene u visini električnog luka mogu uzrokovati različite greške u zavarenom spoju, pa i prekid električnog luka. Da se to ne bi dogodilo, postoji nekoliko načina regulacije visine električnog luka.

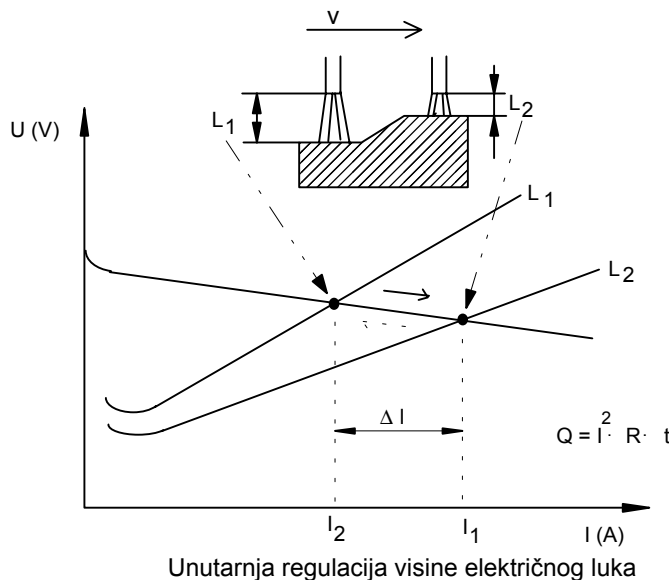
Kod REL zavarivanja uređaji za zavarivanje imaju strmo padajuću karakteristiku, a regulaciju visine električnog luka provodi zavarivač, primicanjem ili odmicanjem elektrode.



Uređaji za ručno zavarivanje TIG postupkom također imaju strmo padajuću karakteristiku izvora struje za zavarivanje.

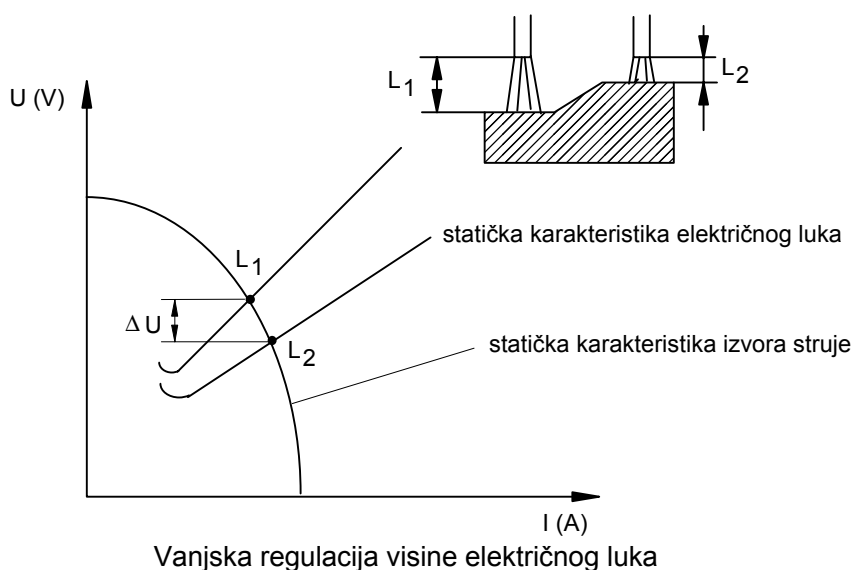
Kod automatskih i poluautomatskih postupaka zavarivanja koristi se unutarnja ili strujna i vanjska ili naponska regulacija visine električnog luka.

Unutarnja ili strujna regulacija se koristi kod MAG/MIG uređaja za zavarivanje i kod EP uređaja kod kojih se zavaruje žicom promjera do 3 mm. Ova regulacija podrazumjeva da je izvor struje za zavarivanje napravljen tako da kod male promjene visine električnog luka dolazi do veće promjene jakosti struje, što ovisno predznaku promjene dovodi do bržeg ili sporijeg taljenja žice za zavarivanje (te ponovnog uspostavljanja ravnotežnog stanja – željene visine električnog luka). Unutarnja ili strujna regulacija odvija se kod izvora struje sa položenom ili ravnom statičkom karakteristikom. Princip regulacije prikazan je na sljedećoj slici.



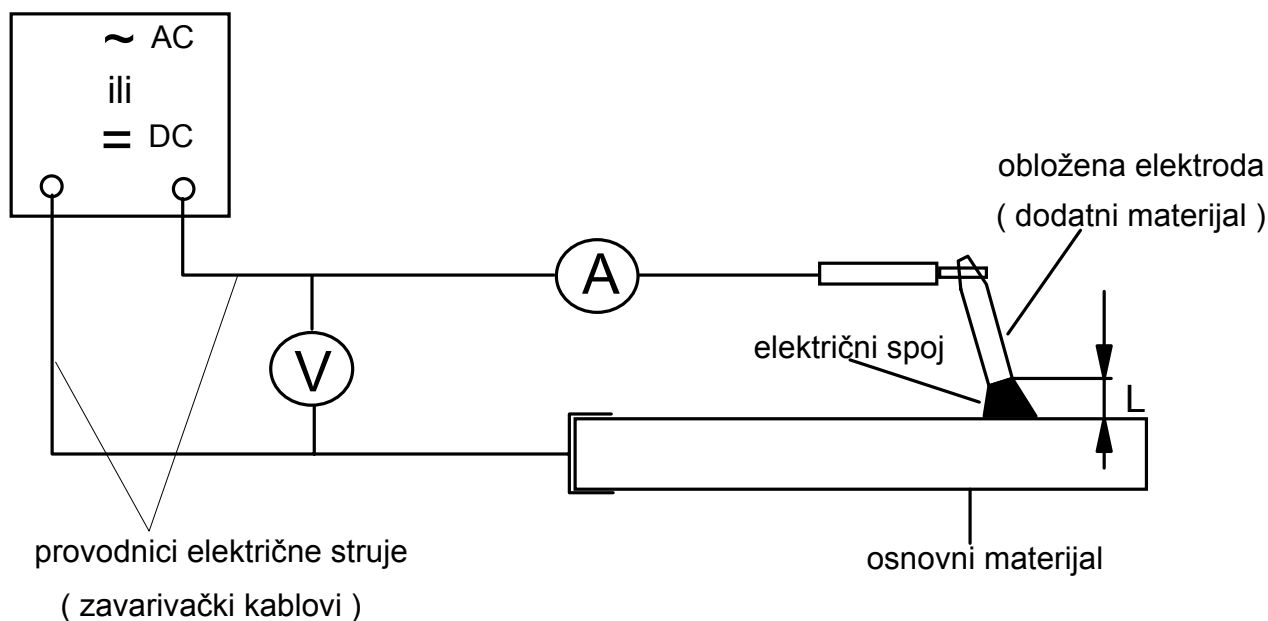
Zbog promjene jakosti struje (ΔI), razvija se veća ili manja količina Joule-ove topline (Q) koja se troši na brže ili sporije taljenje dodatnog materijala (žice za zavarivanje), kako bi se čim prije došlo u željeno ravnotežno stanje visine električnog luka (i stabilnosti glavnih parametara zavarivanja).

Vanjska ili naponska regulacija se koristi kod EP uređaja kod kojih se zavaruje žicom promjera iznad 3 mm. Vanjska ili naponska regulacija provodi se kod izvora struje sa strmom statičkom karakteristikom. Princip regulacije prikazan je na sljedećoj slici.

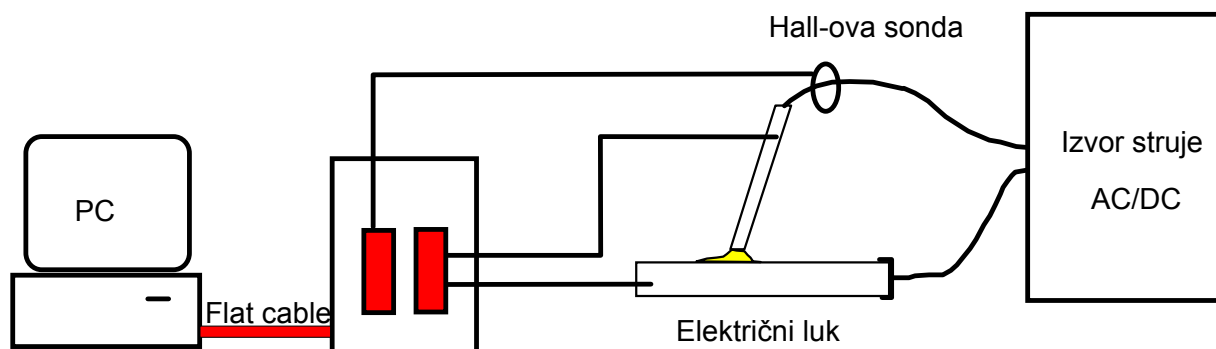


Na osnovi registrirane promjene napona ΔU , elektromotor za pogon žice za zavarivanje pogoni istu brže ili sporije (ovisno o promjeni ΔU), pa se na taj način dolazi do željene visine električnog luka.

Dinamička karakteristika u električnom luku za zavarivanje dobije se na osnovi velikog broja mjerenja napona i jakosti struje zavarivanja tijekom zavarivanja. Predstavlja dakle odnos napona i jakosti struje zavarivanja koji se dobije tijekom zavarivanja. Izgled dinamičke karakteristike ovisi o mnogim čimbenicima. No u osnovi se može razlikovati dinamička karakteristika istosmjerne (Direct Current) i izmjenične struje (Alternating Current). Unutar svake grupe postoje različiti oblici prijenosa materijala, različiti postupci zavarivanja, materijali, Na sljedećoj slici je shematski prikazan princip mjerenja napona i jakosti struje pri zavarivanju.



Veliki broj mjerenja (npr. 10 kHz) izvodi se pomoću moderne opreme za mjerenje, registraciju i obradu parametara zavarivanja, tzv. “On – line” monitoring sistema. Jedan takav sistem prikazan je na sljedećoj slici.



- PC
- A/D konverter
- Software
- Moduli za napon i jakost struje
- Matična ploča za module
- Izvor struje za "On-line" monitor

HEMA "ON-LINE" MONITORA GLAVNIH PARAMETARA ELEKTROLUČNOG ZAVARIVANJA