

# Elektronika

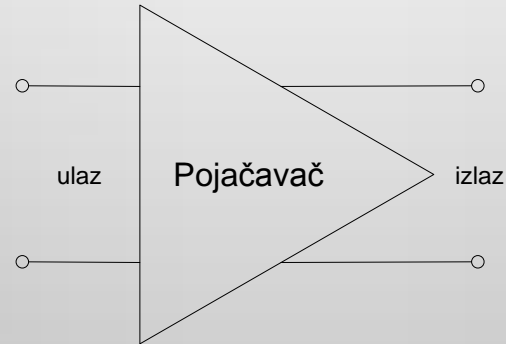
## 1. Modeli pojačavača

Prirodno-matematički fakultet u Nišu  
Departman za fiziku

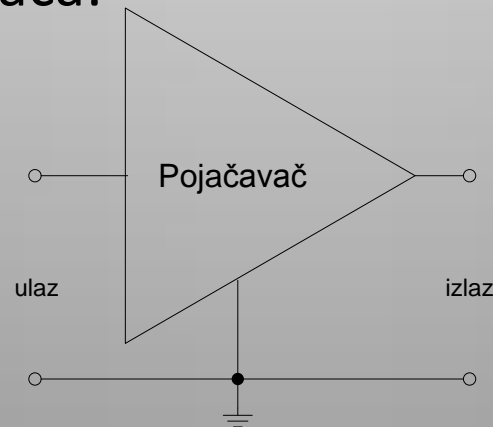
- Najjednostavniji zadatak kod obrade signale je pojačanje signala.
- Pretvarači signala daju signale koji su slabi za pouzdano procesiranje (reda  $\mu\text{V}$  ili  $\text{mV}$  ).
- Obrada signala biće lakša i pouzdanija ukoliko signal ima veću amplitudu.
- **Pojačavač signala** je linearni elektronski sklop namenjen namenjen pojačavanju električnih signala.

- Kod pojačavanja signala se mora voditi računa da se zadrži informacija koju signal nosi i da se ne uvode nove informacije.
- Izlazni signal pojačavača mora da bude kopija ulaznog signala po obliku, ali veće amplitude.
- Svaka promena talasnog oblika signala tretira se kao distorzija signala i smatra se neželjenom.

Pojačavač signala je dvopolna mreža. Simbol pojačavača:



Ako postoji zajednički izvod (masa) između ulazne i izlazne mreže, onda je simbol pojačavača:

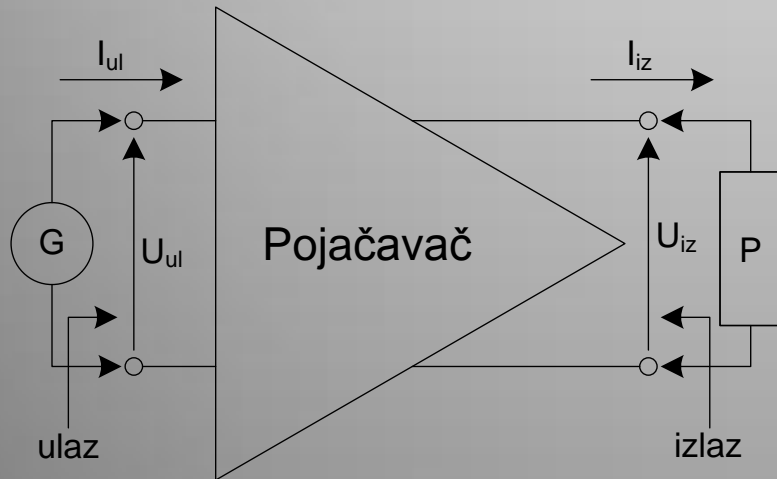


- Veza između izlaznog i ulaznog signala na pojačavaču može se predstaviti relacijom:

$$u_{iz}(t) = A \cdot u_{ul}(t)$$

- Konstanta  $A$  predstavlja amplitudu pojačanja i naziva se jednostavno **pojačanje**.
- Relacija je linearna i opisuje linearni pojačavač.
- Postojanje viših izložilaca napona  $u_{iz}$  u relaciji karakteriše pojačavač sa nelinearnom distorzijom.

- Kod linearnih pojačavača generator ulaznog signala priključen je na ulazne priključke
- A na izlazne priključke spaja se potrošač kojem se predaje pojačani signal
- Pojačavač sadrži aktivne i pasivne elektronske komponente
- Efekat pojačanja je posledica delovanja aktivnih elektronskih komponenata (bipolarni i unipolarni tranzistori)



- Pojačanje se može izraziti kao odnos snage naizmeničnog signala predanog potrošaču i snage signala predanog na ulazu pojačavača.

$$G = \frac{P_{iz}}{P_{ul}}$$

- U praksi pojačanje snage obično se izražava u decibelima:

$$G = 10 \text{Log} \frac{P_{iz}}{P_{ul}} \text{ dB}$$

- Npr.  $P_{ul} = 1 \text{ mW}$  i  $P_{iz} = 1 \text{ W}$  tada je pojačanje snage izraženo prostim odnosom izlazne i ulazne snage jednako 1000, dok u dB iznosi 30.

Pojačanje napona i struje se često izražava u decibelima.

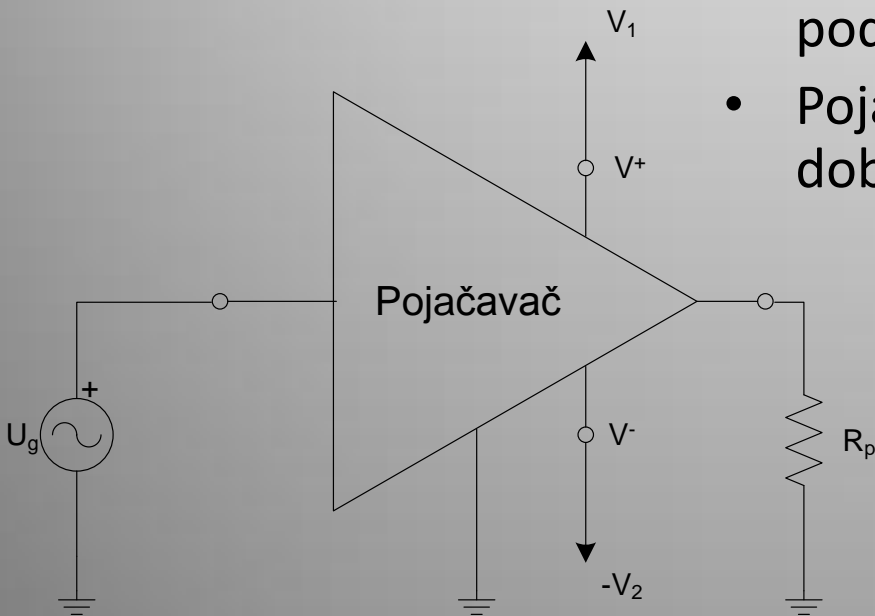
Pojačanje napona: 
$$A_i = 20 \text{Log} \frac{U_{iz}}{U_{ul}} \text{ dB}$$

Pojačanje struje: 
$$A_i = 20 \text{Log} \frac{I_{iz}}{I_{ul}} \text{ dB}$$

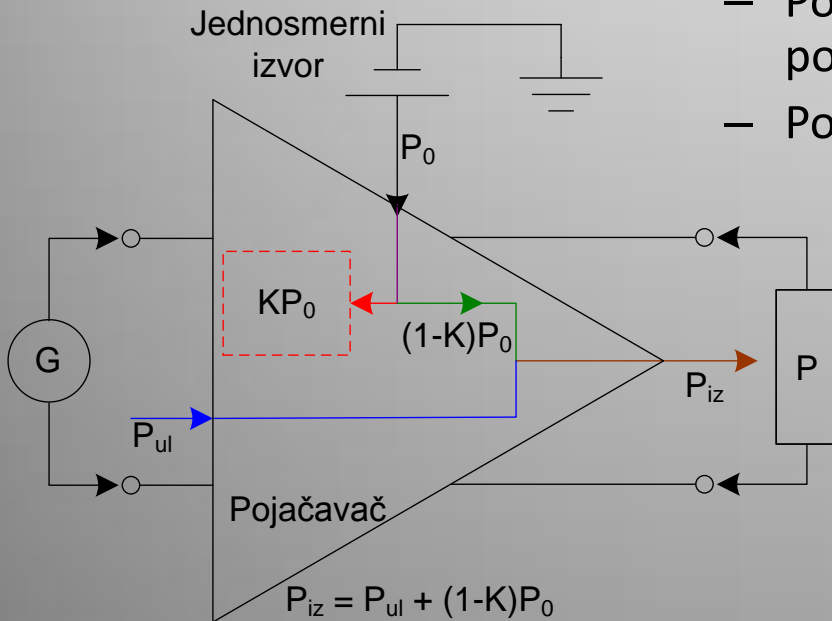
Ako je  $R_{ul}=R_p$  tada je pojačanje snage izraženo u dB jednako pojačanju napona i struje u dB.  
U ostalim slučajevima ta se pojačanja razlikuju.



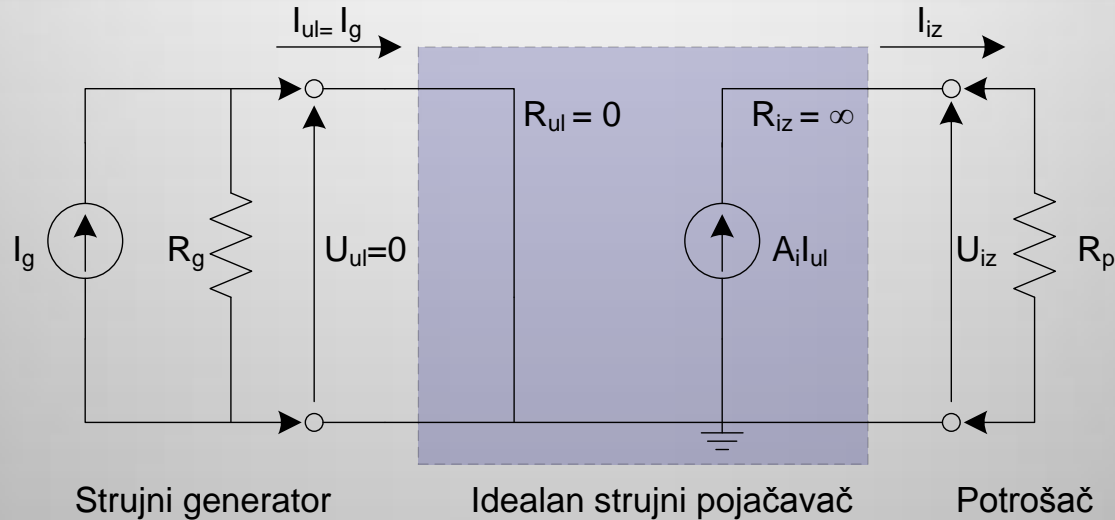
- Za ispravan rad aktivnih elektronskih komponentenata u pojačavaču potrebno je svaku od tih komponentenata dovesti u odgovarajuće radno područje
- Priključenjem elektroda aktivne komponente na odgovarajuće jednosmerne napone ta komponenta se dovodi u odgovarajuće radno područje
- Pojačanje signala se obavlja na račun snage dobijene iz jednosmernog izvora napajanja



- Generator G predaje pojačalu signal snage  $P_{ul}$  (tipično je signal male snage)
- Snaga predana potrošaču P na izlazu –  $P_{iz}$  je znatno veća od  $P_{ul}$
- Jednosmerni izvor predaje pojačalu snagu  $P_0$ . Ta snaga se troši na:
  - Podržavanje aktivnog elementa u radnom području
  - Pokrivanje toplotnih gubitaka



$$P_{iz} = P_{ul} + (1 - K)P_0$$



$$I_{iz} = A_i I_{ul} = A_i I_g \neq f(R_p) \quad A_i \text{ je strujno pojačanje}$$

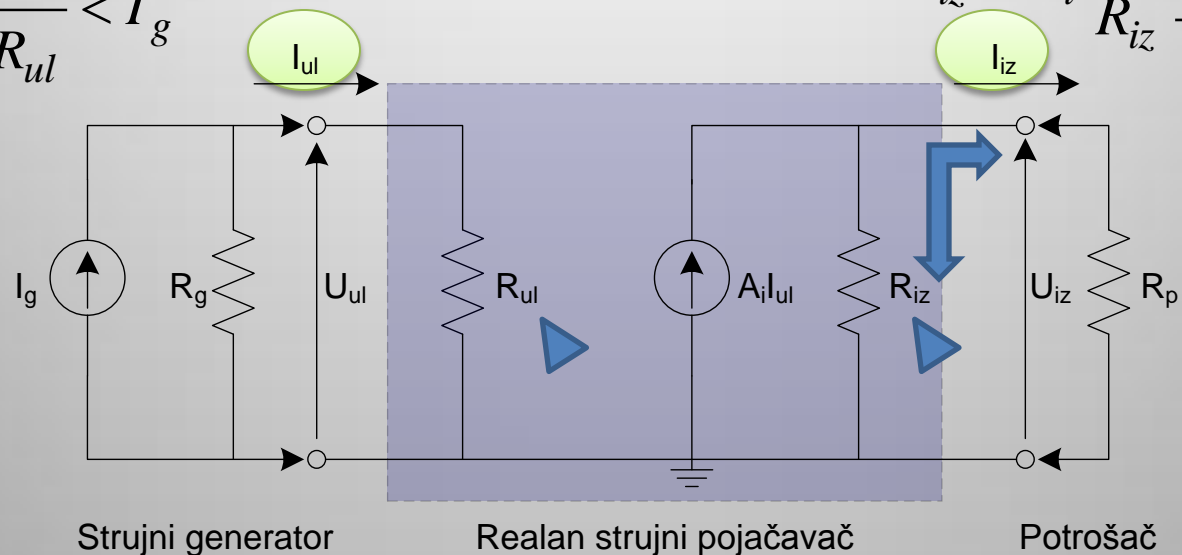
$$U_{iz} = I_{iz} R_p = A_i I_{ul} R_p = A_i I_g R_p = f(R_p)$$

$$P_{iz} = U_{iz} I_{iz} = (A_i U_{ul})^2 R_p = (A_i I_g)^2 R_p = f(R_p)$$

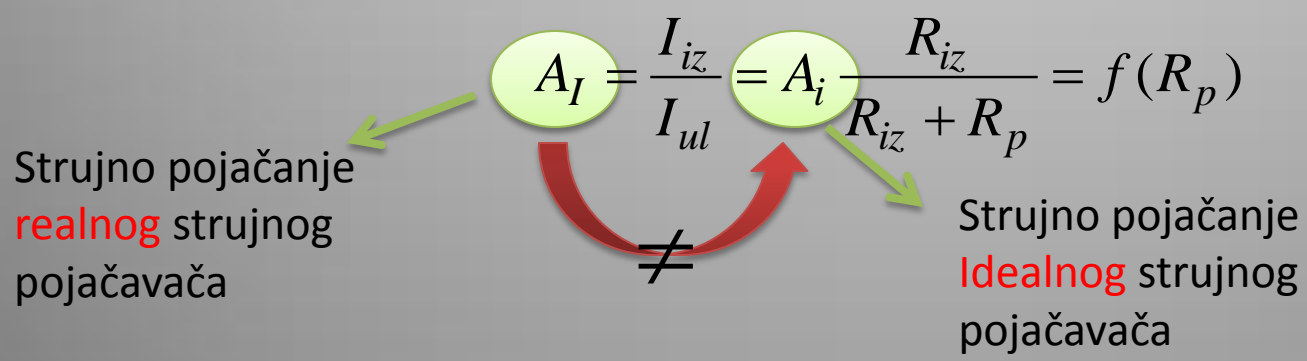
- Strujno pojačanje je konstantno i ne zavisi od  $R_p$  i frekvencije signala
- Idealno strujni pojačavač, gledano sa stajališta potrošača, ustvari zavisni idealni strujni izvor upravljani ulaznom strujom pojačavača
- Generator na ulazu je potpuno izolovan od potrošača na izlazu

$$I_{ul} = I_g \frac{R_g}{R_g + R_{ul}} < I_g$$

$$I_{iz} = A_i \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} I_{ul} = f(R_p)$$

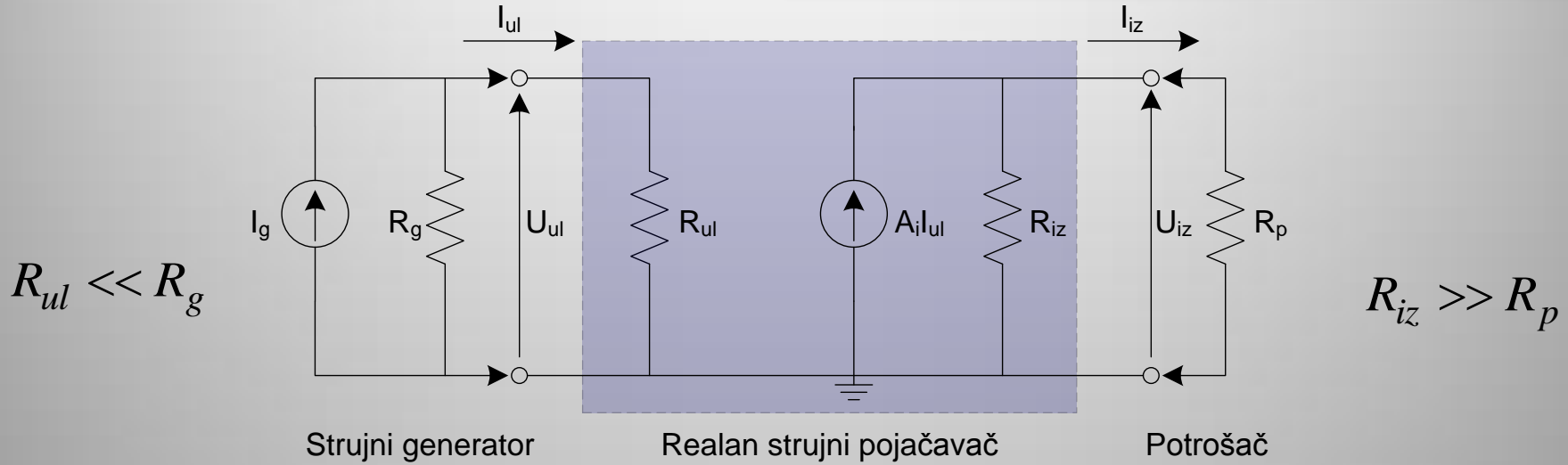


Ako raste  
Otpornost  
potrošača



Strujno pojačanje  
**realnog** strujnog  
pojačavača

Strujno pojačanje  
**Idealnog** strujnog  
pojačavača



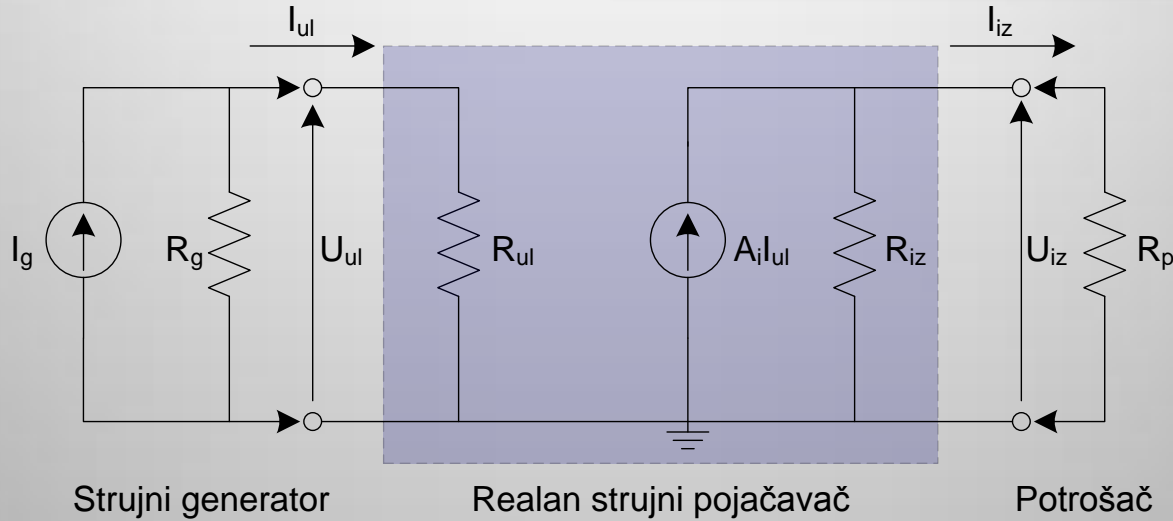
Naponskog pojačanje  
realnog strujnog pojačavača

$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = \frac{I_{iz} R_p}{I_{ul} R_{ul}} = A_I \frac{R_p}{R_{ul}}$$

Pojačanje snage  
realnog strujnog pojačavača

$$G = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{U_{iz} I_{iz}}{U_{ul} I_{ul}} = A_V A_I$$

$$A_{I_g} = \frac{I_{iz}}{I_g} = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} \frac{I_{ul}}{I_g} = A_I \frac{R_G}{R_G + R_{ul}} = A_i \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} \frac{R_G}{R_G + R_{ul}}$$



Strujni generator

Realan strujni pojačavač

Petrošač

Kod **realnog** strujnog pojačavača

$$A_{Ig} = \frac{I_{iz}}{I_g} = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} \frac{I_{ul}}{I_g} = A_i \frac{R_G}{R_G + R_{ul}} = A_i \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} \frac{R_G}{R_G + R_{ul}}$$

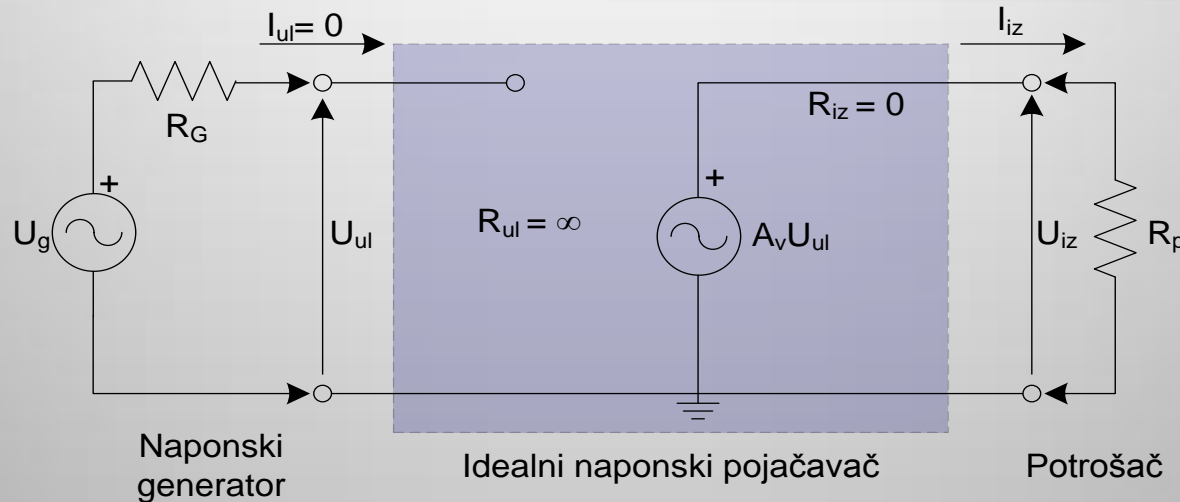
Kod **idealnog** strujnog pojačavača

$$A_{ig} = \frac{I_{iz}}{I_g} = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} = A_i$$

Cilj kod projektovanja:

$$R_{ul} \ll R_g \quad \text{i} \quad R_{iz} \gg R_p$$

Realni primer je pojačavač sa bipolarnim tranzistorom u spoju sa zajedničkim emiterom.



$$U_{iz} = A_v U_{ul} = A_v U_g \neq f(R_p)$$

$A_v$  je naponsko pojačanje

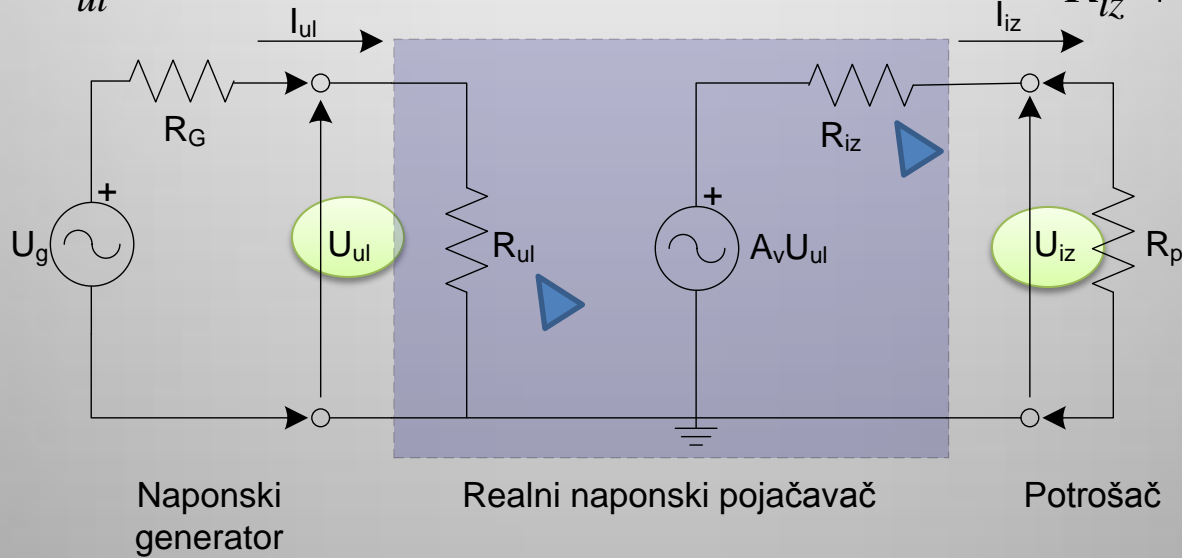
$$I_{iz} = \frac{U_{iz}}{R_p} = A_v \frac{U_{ul}}{R_p} = A_v \frac{U_g}{R_p} = f(R_p)$$

$$P_{iz} = U_{iz} I_{iz} = \frac{(A_v U_{ul})^2}{R_p} = \frac{(A_v U_g)^2}{R_p} = f(R_p)$$

- Naponsko pojačanje je konstantno i ne zavisi od  $R_p$  i frekvencije signala
- Idealno naponski pojačavač, gledano sa stajališta potrošača, ustvari zavisni idealni naponski izvor upravljani naponom na ulazu pojačavača
- Generator na ulazu je potpuno izolovan od potrošača na izlaz

$$U_{ul} = U_g \frac{R_{ul}}{R_g + R_{ul}} < U_g$$

$$U_{iz} = A_v \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} U_{ul} = f(R_p)$$

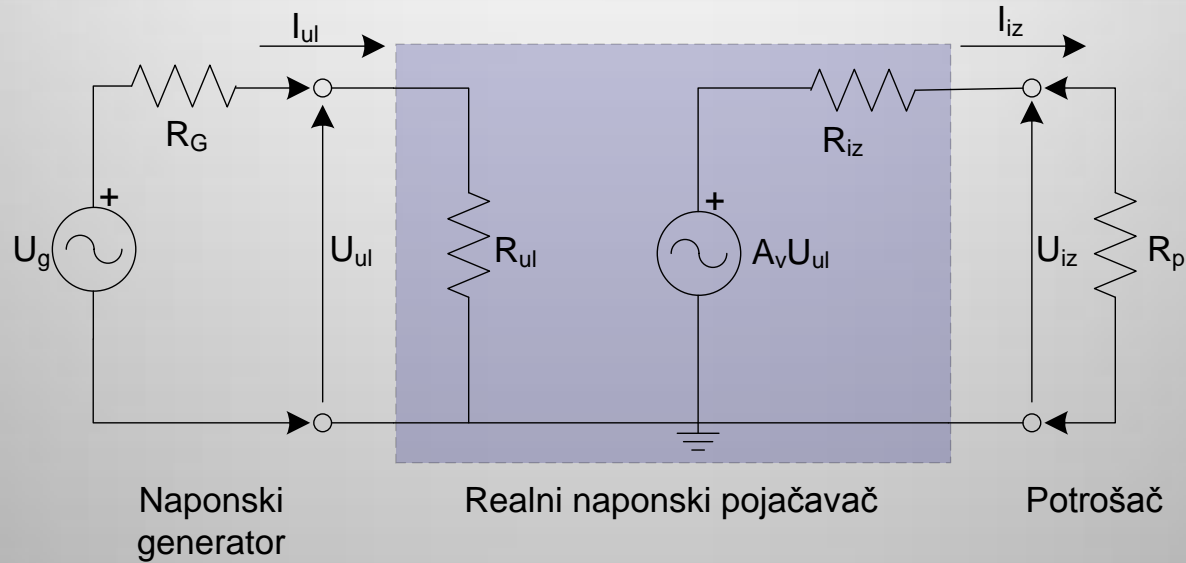


Naponsko pojačanje  
**realnog** naponskog  
 pojačavača

$$A_v = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = A_v \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} = f(R_p)$$

Naponsko pojačanje  
**idealnog** naponskog  
 pojačavača



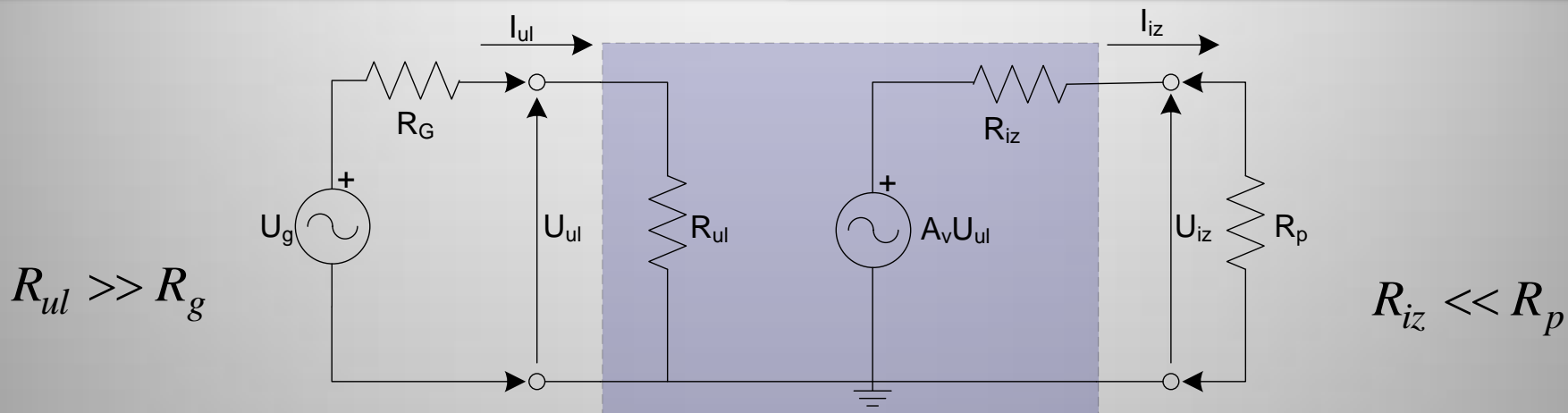


Strujno pojačanje  
realnog naponskog pojačavača

$$A_I = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} = \frac{U_{iz}}{R_p} \frac{R_{ul}}{U_{ul}} = A_V \frac{R_{ul}}{R_p}$$

Pojačanje snage realnog  
naponskog pojačavača

$$G = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{U_{iz} I_{iz}}{U_{ul} I_{ul}} = A_V A_I$$



Naponski generator

Realni naponski pojačavač

Potrošač

Kod **realnog** naponskog pojačavača

$$A_{Vg} = \frac{U_{iz}}{U_g} = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} \frac{U_{ul}}{U_g} = A_v \frac{R_{ul}}{R_G + R_{ul}} = A_v \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} \frac{R_{ul}}{R_G + R_{ul}}$$

Kod **idealnog** naponskog pojačavača

$$A_{Vg} = \frac{U_{iz}}{U_g} = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = A_v$$

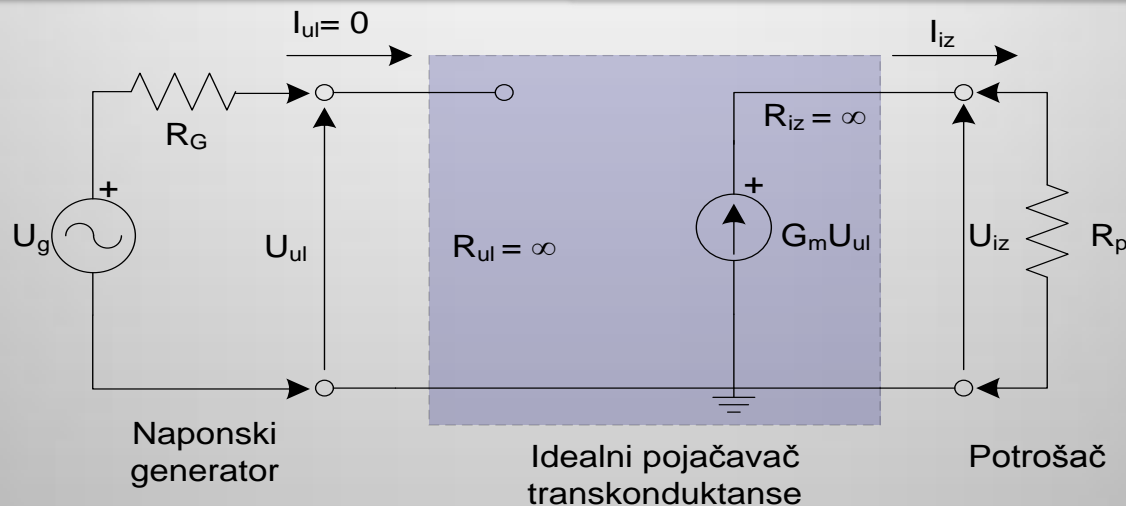
Cilj kod projektovanja:

$$R_{ul} \gg R_g \quad \text{i} \quad R_{iz} \ll R_p$$

Realni primer je pojačavač sa unipolarnim tranzistorom u spoju sa zajedničkim sorsom.

**Uvod**  
**Modeli pojačavača**

Strujni pojačavač  
Naponski pojačavač – idealni, realni  
Pojačavač transkonduktanse – **idealni**, realni  
Pojačava transrezistance



$$I_{iz} = G_m U_{ul} = G_m U_g \neq f(R_p)$$

$G_m$  [mA/V]  
strmina pojačavača

$$U_{iz} = I_{iz} R_p = G_m U_{ul} R_p = G_m U_g R_p = f(R_p)$$

Naponsko pojačanje

$$A_v = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = G_m R_p = f(R_p)$$

Snaga predana  
potrošaču

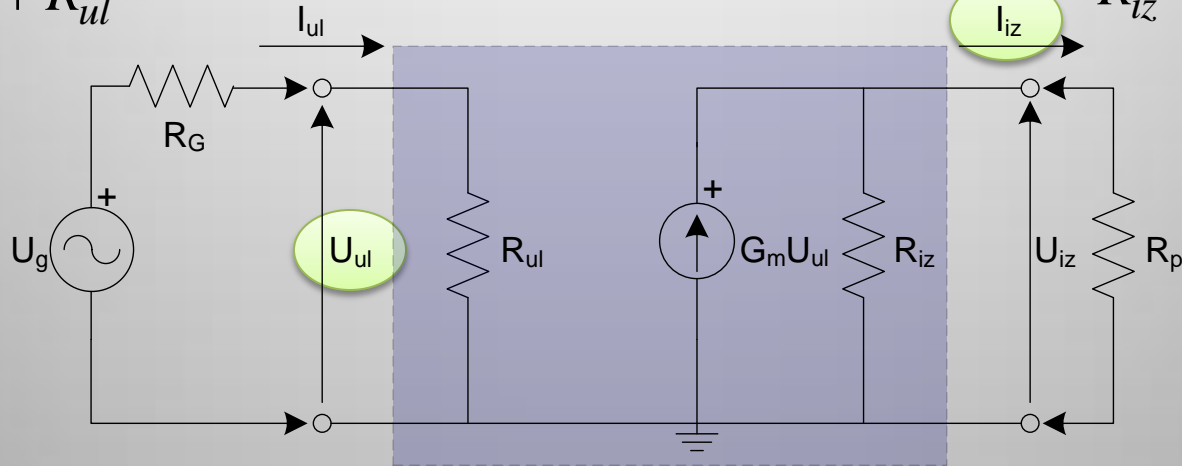
$$P_{iz} = U_{iz} I_{iz} = (G_m U_{ul})^2 R_p = f(R_p)$$

**Uvod**  
**Modeli pojačavača**

Strujni pojačavač  
 Naponski pojačavač – idealni, realni  
 Pojačavač transkonduktanse – idealni, **realni**  
 Pojačava transrezistance

$$U_{ul} = U_g \frac{R_{ul}}{R_g + R_{ul}} < U_g$$

$$I_{iz} = G_m \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} U_{ul} = f(R_p)$$



Realni pojačavač  
transkonduktanse

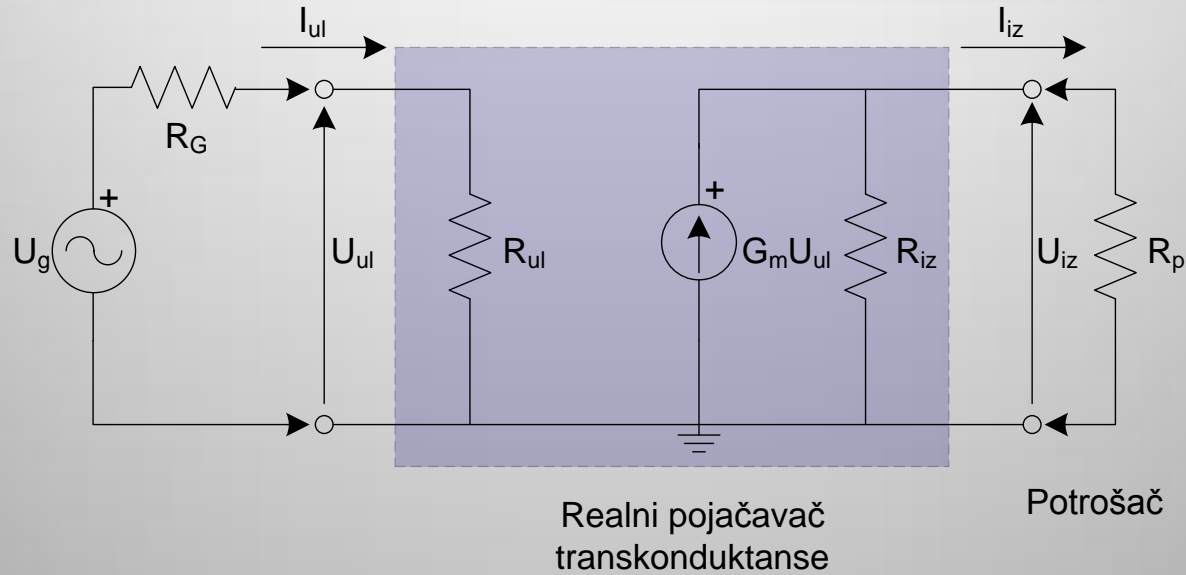
Petrošač

$$G_M = \frac{I_{iz}}{U_{ul}} = G_m \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} = f(R_p)$$

Strmina **realnog**  
pojačavača

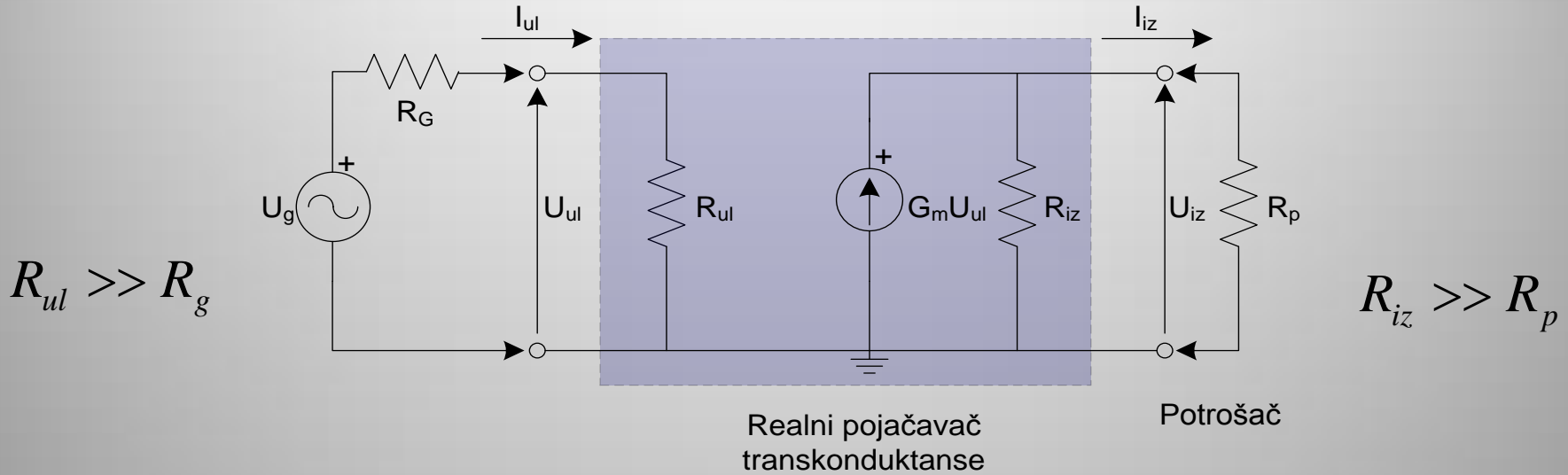
Strmina  
**idealnog**  
pojačavača

$\neq$



Naponsko pojačanje  
realnog pojačavača

$$A_V = \frac{U_{iz.}}{U_{ul}} = G_M R_p$$



Kod **realnog** pojačavača

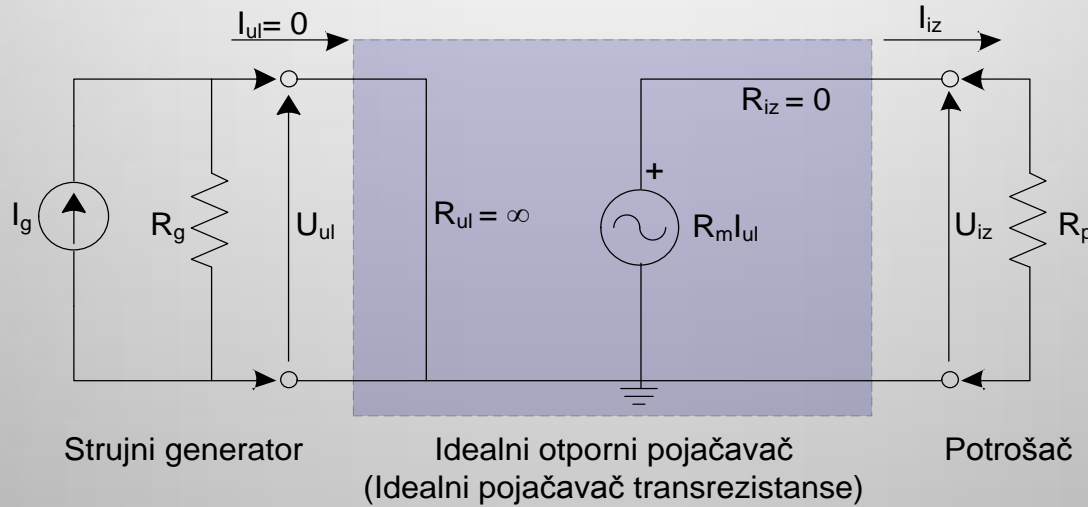
$$G_{Mg} = \frac{I_{iz}}{U_g} = \frac{I_{iz}}{U_{ul}} \frac{U_{ul}}{U_g} = G_m \frac{R_{iz}}{R_{iz} + R_p} \frac{R_{ul}}{R_G + R_{ul}}$$

Kod **idealnog** pojačavača

$$G_{Mg} = \frac{I_{iz}}{U_g} = \frac{I_{iz}}{U_{ul}} = G_m$$

Cilj kod projektovanja:

$$R_{ul} \gg R_g \quad \text{i} \quad R_{iz} \gg R_p$$



$$U_{iz} = R_m U_{ul} = R_m I_g \neq f(R_p)$$

$$I_{iz} = \frac{U_{iz}}{R_p} = \frac{R_m}{R_p} I_{ul}$$

$$A_i = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} = \frac{R_m}{R_p} = f(R_p)$$

$$P_{iz} = U_{iz} I_{iz} = \frac{(R_m I_{ul})^2}{R_p}$$

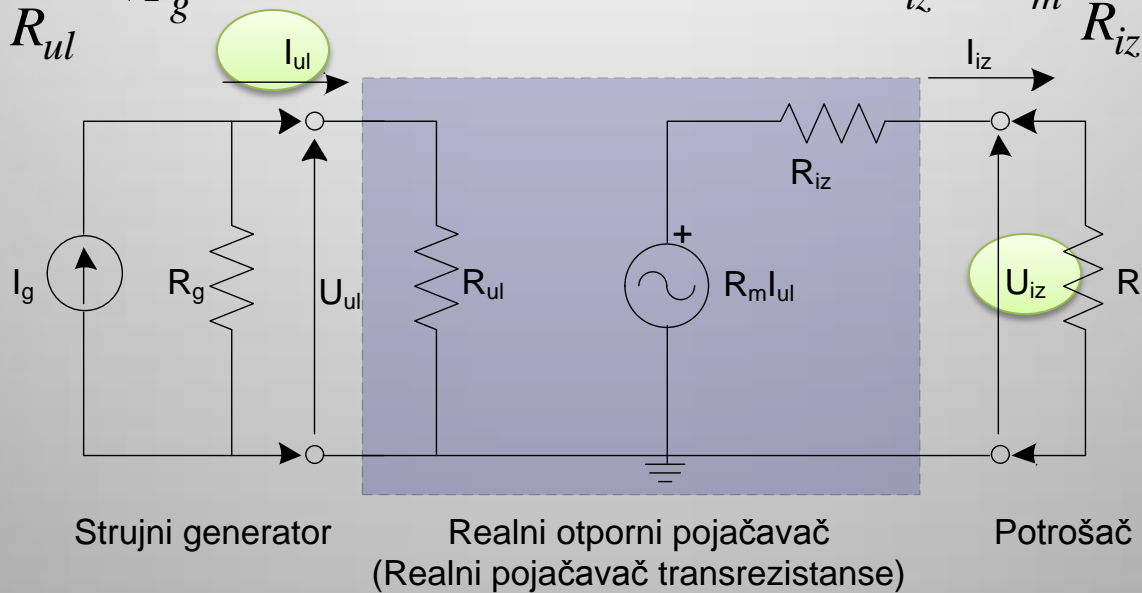
$R_m$  [Ω]  
Prenosni otpor  
pojačavača

Strujno pojačanje

Snaga predana  
potrošaču

$$I_{ul} = I_g \frac{R_g}{R_g + R_{ul}} < I_g$$

$$U_{iz} = R_m \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} I_{ul} = f(R_p)$$

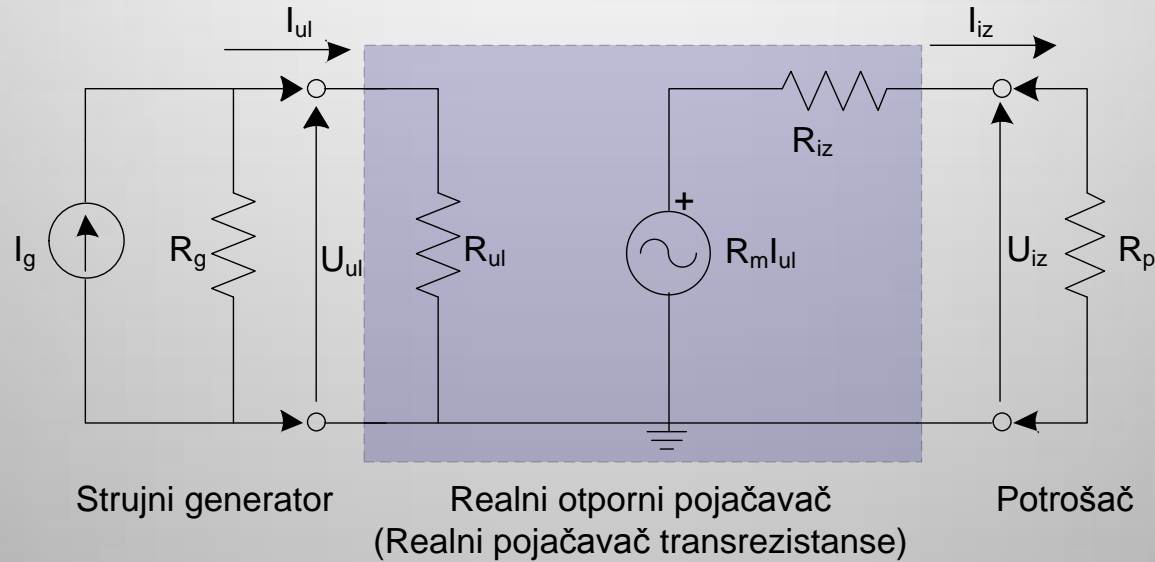


Prenosni otpor  
**realnog** pojačavača

$$R_M = \frac{U_{iz}}{I_{ul}} = R_m \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} = f(R_p)$$

Prenosni otpor  
**idealnog** pojačavača



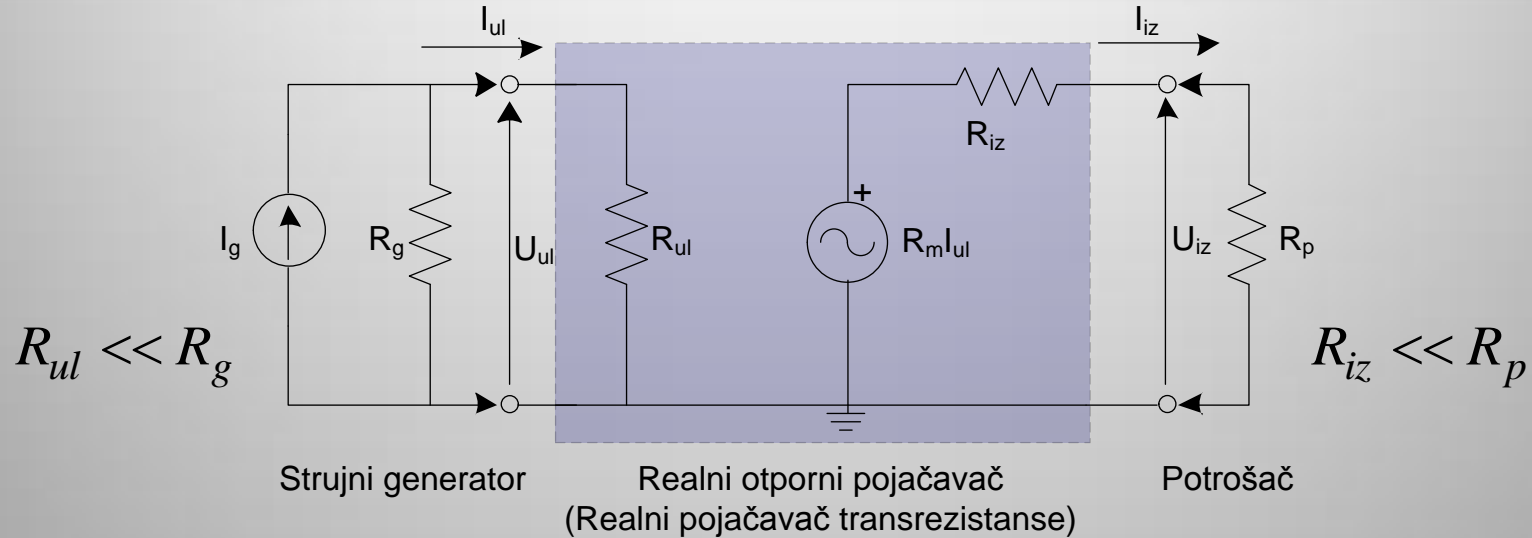


Naponsko pojačanje  
realnog pojačavača

$$A_V = \frac{U_{iz}}{U_{ul}} = \frac{R_M}{R_{ul}}$$

Strujno pojačanje  
realnog pojačavača

$$A_I = \frac{I_{iz}}{I_{ul}} = \frac{R_M}{R_p}$$



Kod **realnog** pojačavača

$$R_{Mg} = \frac{U_{iz}}{I_g} = R_m \frac{R_p}{R_{iz} + R_p} \frac{R_g}{R_g + R_{ul}}$$

Kod **idealnog** pojačavača

$$R_{Mg} = \frac{U_{iz}}{I_g} = \frac{U_{iz}}{I_{ul}} = R_m$$

Cilj kod projektovanja:

$$R_{ul} \ll R_g \quad \text{i} \quad R_{iz} \ll R_p$$