

# Akustičko pojačanje u audio sistemima za dopunsko ozvučenje

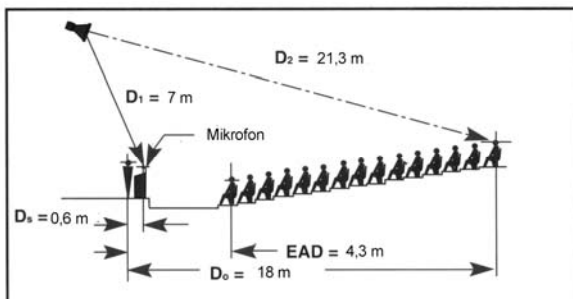
Dragan G. Drinčić, Sonja V. Krstić i Zoran S. Kecojević

**Sadržaj** — U radu je prikazan postupak izračunavanja akustičkog pojačanja u jednokanalnim sistemima za dopunsko ozvučenje. Dobijeni rezultati su potvrđeni merenjem. Pokazano je da se za izračunavanje akustičkog pojačanja može koristiti i uprošćena procedura ako se prethodno odredi kritično rastojanje za dati izvor u prostoriji.

**Ključne reči** — Akustičko pojačanje, audio sistemi za dopunsko ozvučenje.

## I. UVOD

AUDIO sistemi predviđeni za pojačanje zvuka tako da ga može slušati veći broj slušalaca nazivaju se razglasnim (public address) sistemima. Poseban tip razglasnih sistema su sistemi za pojačanje živog zvuka (Sound reinforcement systems), odnosno sistemi za dopunsko ozvučenje, gde su i prirodni izvor zvuka i slušalac u istom akustičkom prostoru.



Sl. 1. Šematski prikaz audio sistema u zatv. prostoriji

Osnovna namena sistema za dopunsko ozvučenje je da poveća nivo zvuka govornika ili izvodjača iznad njihovih prirodnih akustičkih vrednosti. Akustičko pojačanje se može definisati kao povećanje nivoa zvučnog pritiska, usled doprinosa audio sistema, iznad prirodnih akustičkih nivoa u položaju bilo kojeg slušaoca. Drugim rečima, akustičko pojačanje je povećanje nivoa zvučnog pritiska koje dati slušalac oseća kada je sistem za pojačanje zvuka uključen, u poredjenju sa nivoom koji čuje od govornika

Dragan D. Drinčić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva u Beogradu, Vojvode Stepe 283, 11 000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-7788226; faks: 381-11-3950024; e-mail: dragan.drincic@vets.edu.yu).

Sonja V. Krstić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva u Beogradu, Vojvode Stepe 283, 11 000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-8399810; faks: 381-11-3950023; e-mail: sonja.krstic@vets.edu.yu).

Zoran S. Kecojević, Lola audio, Gruje Miškovića 24, 11030 Beograd, Srbija; (telefon: 381-63-229619; faks: 381-11-3057243; e-mail: lolaudio@bitsyu.net).

kada je sistem isključen.

Nivoi zvuka od govornika ili izvodjača opadaju idući prema najudaljenijim slušaocima. Stoga je potrebno znatno veće akustičko pojačanje za najudaljenije nego za najbliže slušaoce. Može se desiti da za bliže slušaoce nije ni posebno nikakvo pojačanje.

Na sl. 1 je šematski prikazan prost sistem za pojačanje zvuka u zatvorenoj prostoriji. Oznake na ovoj slici, kako se najčešće i sreću u literaturi su:

$D_s$  – rastojanje od izvora (govornika) do mikrofona,  
 $D_0$  – rastojanje od izvora do najudaljenijeg slušaoca  
 $D_1$  – rastojanje od zvučnika do mikrofona  
 $D_2$  – rastojanje od zvučnika do najudaljenijeg slušaoca  
 $EAD$  – ekvivalentno akustičko rastojanje.

## II. SLABLJENJE ZVUKA U PROSTORIJI SA POVEĆANJEM RASTOJANJA OD IZVORA

Ukupni intenzitet zvuka  $J_T$  u prostoriji jednak je zbiru intenziteta direktnog  $J_D$  i reflektovanog  $J_R$  zvuka. Intenzitet direktnog zvuka određuje se kao i u slobodnom prostoru [1]

$$J_D = \frac{QP_a}{4\pi D_x^2} \quad (1)$$

dok je intenzitet reflektovanog zvuka [1]:

$$J_R = \frac{4NP_a}{A} = \frac{4NP_a}{a_{sr}S} \quad (2)$$

gde je:  $P_a$  - akustička snaga izvora zvuka

$Q$  -  $Q$  faktor usmerenosti izvora

$A = a_{sr}S$  - ukupna apsorpcija prostorije

$a_{sr}$  - srednji koeficijent apsorpcije

$S$  - površina prostorije

$N$  - broj identičnih izvora zvuka u prostoriji

$D_x$  - rastojanje od izvora zvuka do tačke u kojoj je intenzitet  $J_T$ .

Sa druge strane imamo da je:

$$J_T = J_D + J_R = \frac{p^2}{\rho c} \quad (3)$$

gde je:  $p$  - ukupan pritisak u prostoriji

$\rho c$  - karakteristična impedansa vazduha u standardnim atmosferskim uslovima.

Sabiranjem izraza (1) i (2) dobijamo da je ukupan pritisak u prostoriji na rastojanju  $D_x$  od izvora:

$$p = \sqrt{\rho c P_a \left( \frac{Q}{4\pi D_x^2} + \frac{4N}{A} \right)} \quad (4)$$

a njegov nivo:

$$L_T = 20 \log \frac{P}{P_{ref}} = L_W + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi D_x^2} + \frac{4N}{A} \right) \quad (5)$$

$$= 120 + 10 \log P_a + 10 \log \left( \frac{Q}{4\pi D_x^2} + \frac{4N}{A} \right)$$

Iz jednačine (5) jasno je da slabljenje zvuka u prostoriji  $\Delta D_x$  na rastojanju  $D_x$  od izvora predstavlja zadnji član koji se jedini menja sa rastojanjem, tj.:

$$\Delta D_x = -10 \log \left( \frac{Q}{4\pi D_x^2} + \frac{4N}{A} \right) \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

### III. MOGUĆE AKUSTIČKO POJAČANJE

Kada je sistem za pojačanje zvuka u radu, intenzitetu zvuka na mestu mikrofona doprinose izvor (recimo govornik) i zvučnik. Nivo zvuka izvora na mestu mikrofona, prema jednačinama (5) i (6), je:

$$L_{MS} = L_{WS} - 11 - \Delta D_s \quad (7)$$

dok je nivo zvuka zvučnika na mestu mikrofona:

$$L_{MZ} = L_{WZ} - 11 - \Delta D_1 \quad (8)$$

gde je  $L_{WZ}$  nivo akustičke snage zvučnika a  $L_{WS}$  nivo akustičke snage izvora.

Na ivici nastanka regenerativne povratne sprege i početka nestabilnog rada, kada je pojačanje sistema najveće, imamo da je  $L_{MS} = L_{MZ}$ , odakle se, s obzirom na relacije (7) i (8), dobija:

$$L_{WZ} = L_{WS} + \Delta D_1 - \Delta D_s \quad (9)$$

Slično, na mestu najudaljenijeg slušaoca, nivoi zvuka koje stvaraju govornik i zvučnik su, respektivno:

$$L_{D_0S} = L_{WS} - 11 - \Delta D_0 \quad (10)$$

$$L_{D_0Z} = L_{WZ} - 11 - \Delta D_2 \quad (11)$$

Pojačanje sistema na ivici povratne sprege, ili moguće akustičko pojačanje  $PAG$  (Potential Acoustic Gain) [1],[2], dato je izrazom:

$$PAG = L_{D_0Z} - L_{D_0S} \quad (12)$$

odakle, s obzirom na jednačine (10) do (11), konačno dobijamo:

$$PAG = \Delta D_0 + \Delta D_1 - \Delta D_s - \Delta D_2 \quad (13)$$

### IV. PRORAČUN AKUSTIČKOG POJAČANJA

Proračun akustičkog pojačanja izveden je u salama za predavanja u novoj zgradi Univerziteta Megatrend u Beogradu. Sistem za dopunsko ozvučenje instaliran je u ukupno četiri ovakve sale (A2, A3, S1 i S2). Sale su različitih dimenzija (zapremine od 190 m<sup>3</sup> do 827 m<sup>3</sup>), paralelopipednog oblika. Plafon je urađen od spuštenih gipsanih ploča, zidovi su goli bez akustičke obrade, a pod je prekriven vinaz pločicama. Akustički uslovi u salama su dosta nepovoljni, sa relativno visokim vrednostima vremena reverberacije (u odnosu na namenu i dimenzije sala) kao i sa приметnim prisustvom „flater – eho“ pojave. Kao tehnički opravdano i ekonomski prihvatljivo rešenje dopunsko ozvučenje je realizovano pomoću centralne zvučničke skupine, kao u primeru prikazanom na sl. 1.

U tabeli 1 prikazani su vreme reverberacije  $T$ , zapremina  $V$  i ukupna apsorpcija  $A$  praznih sala. Prva dva

parametra su dobijena merenjem a ukupna apsorpcija je izračunata primenom Sabinovog obrasca za vreme reverberacije [3]. U istoj tabeli su prikazane i izračunate vrednosti kritičnog rastojanja  $D_c$  (rastojanje na kojem su nivo direktnog i reflektovanog zvuka jednaki) za neusmereni izvor [1].

TABELA 1: PARAMETRI SALA

Sala	T(s)	V(m <sup>3</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	$D_c$ (m)
S1	1,6	406	41	0,9
S2	1,9	190	16	0,6
A2	0,9	685	122	1,6
A3	0,75	827	176	1,9

TABELA 2: KARAKTERISTIČNA RASTOJANJA U SALAMA

Sala	$D_s$ (m)	$D_0$ (m)	$D_1$ (m)	$D_2$ (m)
S1	0,25	16,8	5,7	11,6
S2	0,25	10,6	2,4	9,3
A2	0,25	19,3	7,2	12,8
A3	0,25	18,9	7,2	11,8

Tabela 2 prikazuje karakteristična rastojanja između izvora zvuka, elektroakustičkih pretvarača (mikrofon i zvučnik) i najudaljenijih slušalaca u salama, kako je definisano u vezi sa sl.1.

Proračun akustičkog pojačanja se sada može izvesti po standardnom i skraćenom postupku. Standardni postupak podrazumeva proračun slabljenja nivoa zvuka na pojedinim rastojanjima prema izrazu (6) i određivanje vrednosti  $PAG$  prema jednačini (13). Rezultati ovog postupka prikazani su u tabeli 3. Pri ovome je uzeto da je u prostoriji jedan zvučnik ( $N=1$ ) sa kružnom karakteristikom usmerenosti ( $Q=1$ ).

TABELA 3: VREDNOSTI  $PAG$  DOBIJENE PO STANDARDNOM POSTUPKU

Sala	$\Delta D_s$ (dB)	$\Delta D_0$ (dB)	$\Delta D_1$ (dB)	$\Delta D_2$ (dB)	$PAG$ (dB)
S1	0,1	10,1	10	10	10
S2	-0,6	6	5,8	6	6,4
A2	0,4	14,8	14,5	14,8	14,1
A3	0,4	16,4	16,2	16,3	15,9

Skraćeni postupak se sastoji u tome da se slabljenje prvo proračuna za rastojanja koja su manja od kritičnog rastojanja  $D_c$ . To se najčešće odnosi samo na rastojanje između izvora zvuka i mikrofona,  $D_s$ . Za sva ostala rastojanja, koja su obično veća od  $D_c$ , uzima se slabljenje koje odgovara rastojanju  $D_c$ , uvećano za 3 dB. Tada se izraz za  $PAG$ , dat jednačinom (13), može svesti na prostiju relaciju:

$$PAG(s) = \Delta D_c - \Delta D_s + 3 \quad (14)$$

Vrednosti za  $PAG(s)$ , dobijene na ovaj način, prikazane su u tabeli 4. Slovo  $s$  u zagradi, uz naziv ove veličine označava da je dobijena po prthodno opisanom skraćenom postupku.

Pri ovome treba voditi računa da se prethodno uprošćenje može primeniti u prostorijama gde je izvan kritičnog rastojanja u prostoriji uspostavljeno

reverbeantno zvučno polje približnokonstantnog nivoa pritiska.

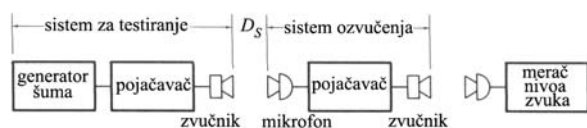
## V. MERENJE AKUSTIČKOG POJAČANJA

Akustičko pojačanje u sistemu ozvučenja moguće je izmeriti prema blok šemi prikazanoj na sl. 2. Za ovo merenje neophodan je generator šuma, odgovarajući pojačavač snage, zvučnik i merač nivoa zvuka. Generator šuma sa pojačavačem snage i zvučnikom se koriste kao izvor signala. Zvučnik se postavi na rastojanju  $D_s$  od mikrofona koji je sastavni deo sistema ozvučenja i koji se nalazi na mestu predviđenom za normalan rad. Prvo se izmeri nivo buke ambijenta izražen u dBA.

Potom se, pri isključenom sistemu ozvučenja, podesi da nivo šuma, iz test zvučnika, na mestu mikrofona bude 75 do 80 dBA.

TABELA 4: VREDNOSTI  $PAG$  DOBIJENE PO SKRAĆENOM POSTUPKU

Sala	$\Delta D_s$ (dB)	$\Delta D_c$ (dB)	$PAG(s)$ (dB)
S1	0,1	7	9,9
S2	- 0,6	3	6,6
A2	0,4	12	14,6
A3	0,4	13,5	16,1



Sl. 2. Blok šema sistema za merenje akustičkog pojačanja

Nakon toga se izmeri nivo zvuka na mestu najudaljenijeg slušaoca (na rastojanju  $D_0$  na sl. 1). Ovaj nivo se očitava u dBA i označen je sa  $L_{D2}$  (off). Pri ovome treba voditi računa da nivo signala iz test zvučnika bude, za bar 6 dB, viši od nivoa ambijentalne buke.

U sledećem koraku se uključi sistem ozvučenja i pri istoj vrednosti test signala na mestu mikrofona (75 do 80 dBA) povećava se pojačanje sistema do pojave netabilnosti u njegovom radu i početka nastajanja regenerativne povratne sprege. (Pojačanje se povećava sve dotle dok sistem ne počne da »zvoni« ali se ne dozvoli da ode u regenerativnu povratnu spregu). Sada se, na ivici povratne sprege, ponovo izmeri nivo zvuka na rastojanju  $D_2$ . Ovu vrednost nivoa zvuka označavamo sa  $L_{D2}$  (on). Akustičko pojačanje  $AG$  je sada:

$$AG = L_{D2}(\text{on}) - L_{D2}(\text{off}) \quad (15)$$

TABELA 5: AKUSTIČKO POJAČANJE DOBIJENO MERENJEM

Sala	$L_{D2}$ (off) (dBA)	$L_{D2}$ (on) (dBA)	$AG$ (dB)
S1	59	73	14
S2	65	74	9
A2	50	68	18
A3	55	73	18

U tabeli 5 su prikazane vrednosti akustičkog pojačanja, u četiri sale za predavanja, dobijene merenjem prema prethodno opisanom postupku.

## VI. ANALIZA REZULTATA

Poređenjem rezultata dobijenih računski, prema standardnom i skraćenom postupku, tabele 3 i 4, vidi se da se oni sasvim dobro međusobno slažu. Za sale o kojima je ovde bilo rači razlike u rezultatima dobijenim po ovim postupcima su manje od 0,5 dB.

Medjutim, razlike između rezultata dobijenih računski i onih dobijenih merenjima su veće. Primećuje se da su vrednosti akustičkog pojačanja dobijene merenjima veće za oko 2 do 4 dB, zavisno od sale do sale. Razlog tome leži u činjenici što kod računskog postupka nije uzeta u obzir usmerenost mikrofona i zvučnika. Pošto je akustičko pojačanje mereno širokopojasno, u celom radnom opsegu audio sistema, to se može prihvatiti činjenica da zvučnik na najnižim frekvencijama ima kružnu karakteristiku usmerenosti. Sa druge strane, čak i ako karakteristika usmerenosti zvučnika nije sasvim kružna on će na mestu mikrofona stvarati manji nivo direktnog ali ne i manji nivo reflektovanog zvuka, pošto se mikrofon po pravilu nalazi izvan kritičnog rastojanja zvučnika.

Kada se radi o usmerenim mikrofonom situacija je drugačija, pošto oni favorizuju direktni zvuk iz pravca govornika u odnosu na reflektovani zvuk iz ostalih pravaca i to se mora uzeti u obzir. Doprinos mikrofona sa kardiodnom karakteristikom usmerenosti, kakvi postoje i u ovim primerima, ukupnom akustičkom pojačanju je reda 2 do 3 dB [9]. Kada se to uzme u obzir, i računski rezultati prikazani u tabelama 3 i 4 uvećaju za ovaj iznos, slaganje sa mernim rezultatima će biti u okviru  $\pm 1,5$  dB.

## LITERATURA

- [1] D. Davis, E. Patronis Jr., *Sound System Engineering*, Focal Press, Third edition, 2006.
- [2] W. Ahnert, F. Steffen, *Sound reinforcement Engineering*, E & FN Spoon, 1999.
- [3] K. Kurtović, *Ozvučavanje*, Tehnička knjiga, 1970.
- [4] W. M. A. Peutz, " Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room", *Audio Eng. Soc.*, No 6, June 1975.
- [5] *Sound System Design Reference Manual*, JBL, 1952
- [6] P. Giddings, *Audio Systems Design and Instalation*, Focal Press, 1990.
- [7] G. Ballou, *Handbook for Sound Engineers*, Third edition, Focal Press, 2005.

## ABSTRACT

Procedure for calculating the acoustic gain in one channel sound reinforcement system is shown in this paper. This procedure has been proven by measurement. The calculation of acoustic gain could be also done by simplified procedure for which critical distance, for given source in specified room, is determined first.

## ACOUSTIC GAIN IN SOUND REINFORCEMENT SYSTEMS

Dragan D. Drinčić, Sonja V. Krstić and Zoran S. Kecejević.