

# ЕТАЛОНИРАЊЕ ОКТАВНИХ И ТЕРЦНИХ ФИЛТРА ИЗ ОБЛАСТИ ЕЛЕКТРОАКУСТИКЕ У ТЕХНИЧКОМ ОПИТНОМ ЦЕНТРУ

мр Драган Лазих, Мирјана Младеновић

Кључне речи: еталонирање, електроакустика, октавни и терцни филтери

## КРАТАК САДРЖАЈ

У раду је приказана метода еталонирања октавних (1/1) и терцних филтра (1/3) интегрисаних у фонометру или као независна целина. Метода се примењује у Техничко опитном центру. Математички модел и поступак вредновања мерне несигурности дат је на примеру еталонирања филтера интегрисаног у фонометру В&К 2250.

## CALIBRATION OF OCTAVE AND THIRD OCTAVE BAND FILTERS IN THE FIELD OF ACOUSTICS IN THE TECHNICAL TESTING CENTER

Keywords: calibration, electroacoustics, octave and third octave band filters

## ABSTRACT

The paper presents a method of calibration octave (1/1) and third octave (1/3) band filters integrated in sound level meter or as independent unit. The method is applied in the Technical Testing Center. The mathematical model and the procedure for evaluating the measurement uncertainty is given on the example of calibration of the filter integrated in the B&K 2250 sound level meter.

## УВОД

У данашње време се све више пажње посвећује буци, изворима буке као и проблемима које она ствара. Бука је, нарочито последњих деценија, један од основних узрока ометања многих активности и комплексног оштећења здравља човека, понајвише у индустријски развијеним земљама. Борба против буке и њеног штетног дејства део су напора који се чине на побољшању услова живота и заштите животне и радне средине. У том циљу предузимају се многе економски оправдане мере којима би се ометајуће дејство буке смањило и ризик оштећења човековог здравља свео на прихватљиву меру. Бука представља непријатан, непожељан или ометајући звук у окружењу. То значи да свака звучна појава шум, галама, говор, прасак, музика, рад мотора, која омета рад или одмор - представља буку. Да бисмо неки звук сматрали буком он мора да буде довољно јак, да га издвајамо од осталих звукова и добро чујемо. Када је реч о спектру буке веома је важно знати које фреквенције су најзаступљеније. Наиме, није свеједно да ли нека бука има изражене високе, средње или ниске фреквенције. Укупни ниво буке може бити исти али су увек штетније високе фреквенције, о чему треба водити рачуна када се у пракси процењује њен утицај. Пошто је бука комплексна звучна појава, често је потребно при анализи њеног ометајућег и штетног дејства познавати распоред и јачину компонената од којих је састављена. Разлагање буке на компоненте остварује се филтрирањем помоћу филтара пропусника опсега фреквенција. Тако добијене вредности постају мерило нивоа компонената буке које се налазе у одабраном опсегу. Анализа се може извршити филтрима пропусницима опсега фреквенција било које ширине. Међутим, да би резултати били уједначени мерења се углавном изводе помоћу октавних (1/1) или трећинско – октавних филтара (1/3) или терца.

Расподела енергије звука у функцији фреквенције представља његов спектар, који се обично даје као график акустичке снаге или звучног притиска у функцији фреквенције. Спектар нам даје информацију о понашању звука у фреквенцијском домену, за разлику од његовог таласног облика, који нам говоре о карактеристикама звука у временском домену. Да би се сагледале детаљне особине неког звучног сигнала потребно је познавати и његов временски облик и његов спектар. По свом спектралном саставу звук може бити веома различит. Према облику спектра све звукове делимо на просте и сложене.

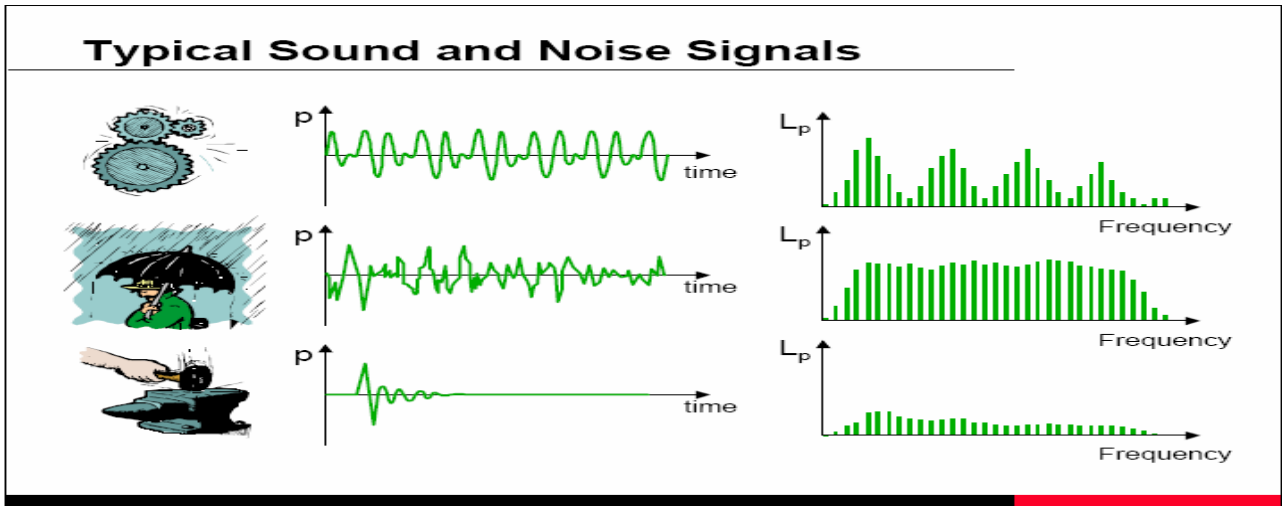
Под простим звуком подразумевамо онај звук који у свом спектру има само једну компоненту одређену по фреквенцији и по интензитету.

Постоје две врсте сложеног звука. Прву врсту чине звукови који у свом саставу имају две или више компонената. То су на пример, звуци произведени на музичким инструментима или звук аутомобилске сирене са више тонова.

Друга врста сложеног звука има континуални, непрекидни спектар и може се приказати обвојницом која показује како се мења интензитет звука - ниво у зависности од фреквенције. У пракси је сложен звук, који има континуални спектар, најчешћи. То су саобраћајна бука, бука у индустријским погонима, удари, експлозије, потреси, безвучни сугласници у говору итд. Све ове звукове једним именом називамо шумови.

У већини случајева је сигнал звука који потиче из природе комплексног облика. Примаран резултат фреквенцијске анализе звучног сигнала је да покаже да је сигнал састављен од бројних дискретних фреквенција са својим индивидуалним нивоима и да су те компоненте симултано приказане у амплитудно-фреквенцијском домену. Број приказаних дискретних фреквенција зависи од тачности фреквенцијске анализе, коју увек дефинише корисник.

На слици су приказани примери детерминистичког сигнала, случајног сигнала и импулсног сигнала.



Слика 1. Облици сигнала у временском и фреквенцијском домену

## РАСПОРЕД ФРЕКВЕНЦИЈА НА ОКТАВЕ И ТЕРЦЕ

Субјективни осећај висине тона не поклапа се са скалом у херцима, већ је експериментално установљено да уво висину тона чује „логаритамски“. То значи да субјективном повећању висине тона за исти интервал одговара повећање фреквенције за исти проценат, што другим речима значи да је субјективни осећај висине тона пропорционалан логаритму фреквенције. Тиме се постиже да једнаки размаци на овој скали представљају за људско уво једнаке интервале. На фреквенцијској скали се најчешће користе интервали октаве, или интервали њених делова као што је терца. Чујно подручје уха (20 Hz до 20 000 Hz) обухвата опсег од тачно 10 октава. Референтна фреквенција за прорачун октава и терци узима се  $f_r=1$  kHz, па се на основу једначине 1 добијају стандардизоване централне фреквенције октава и терци дате у Табели 1.

$$f_0 = f_r * G^{x/b} \quad (1)$$

стандардом је усвојено  $G \approx 2$ , а за  $1/b$  се узима зависно од типа филтра, октаву  $1/1$ , а за терцу  $1/3$  при чему је  $x$  било који цео број, позитиван, негативан или нула. Из табеле 1 се види да октава има три терце: доњу, централну и горњу. Граничне фреквенције за сваки тип филтера на својој централној фреквенцији  $f_0$  добијају из једначине 2 за доњи опсег, а из 3 за горњи опсег.

$$f_1 = f_0 * G^{-1/2b} \quad (2)$$

$$f_2 = f_0 * G^{1/2b} \quad (3)$$

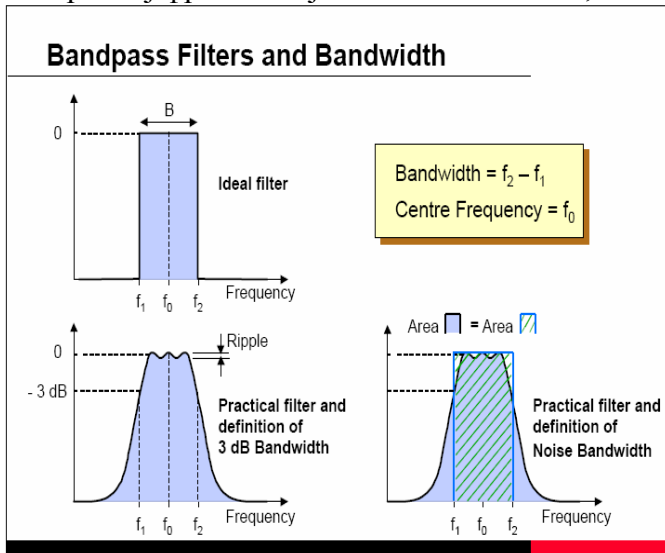
Табела 1. Стандардизоване централне фреквенције октава и терци у акустици

oktava	1/3 oktave	oktava	1/3 oktave
31,5 Hz	25 Hz	1000 Hz	800 Hz
	31,5 Hz		1000 Hz
	40 Hz		1250 Hz
63 Hz	50 Hz	2000 Hz	1600 Hz
	63 Hz		2000 Hz
	80 Hz		2500 Hz
125 Hz	100 Hz	4000 Hz	3150 Hz
	125 Hz		4000 Hz
	160 Hz		5000 Hz
250 Hz	200 Hz	8000 Hz	6300 Hz
	250 Hz		8000 Hz
	315 Hz		10000 Hz
500 Hz	400 Hz	16000 Hz	12500 Hz
	500 Hz		16000 Hz
	630 Hz		20000 Hz

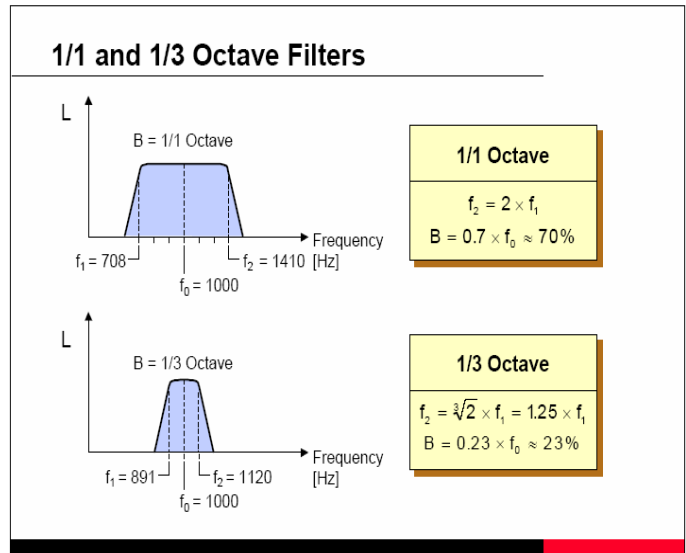
## ОКТАВНИ И ТЕРЦНИ ФИЛТЕРИ

Да би извршили фреквенцијску анализу звучног сигнала неопходно је користити фреквенцијске филтере. Ако је фреквенцијски опсег тих филтера мали онда се постиже већа тачност анализе.

Идеални филтери облика правоугаоника су само математичка апстракција слика 2. У стварности, филтери немају раван врх нити вертикалне бочне стране. Одступање од идеализованог равног облика врха описује се термином “ripple“. Опсег филтера дефинисан је као разлика фреквенција на месту где ниво притиска има пад од 3 dB, што одговара 0,707 у апсолутној мери. Ефективни опсег филтера (noise bandwidth) одговара идеалном филтеру истог нивоа као што је реални филтер, али са опсегом подешеним тако да филтери имају исте “површине”, тј. да површине испод криве реалног филтера и идеалног филтера буду исте. Да би се одредио квалитет филтера, стандардом су усвојене две провере којима се проверавају њихове метролошке карактеристике и то: релативно слабљење на централној фреквенцији, као и ефективно изобличење пропусног опсега филтера. Поступак за проверу карактеристике филтера који се примењује у Техничком опитном центру усвоје је за одређивање релативног слабљења на централној фреквенцији SRPS EN 61260-3, по тачки.10.2.

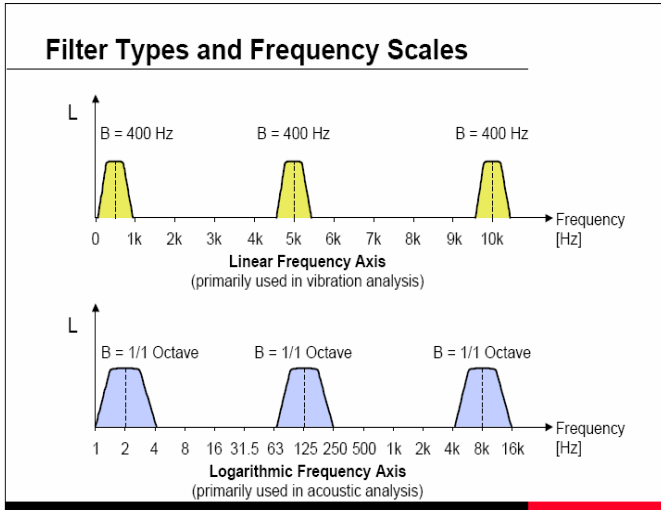


Слика 2. Облик сигнала на филтру

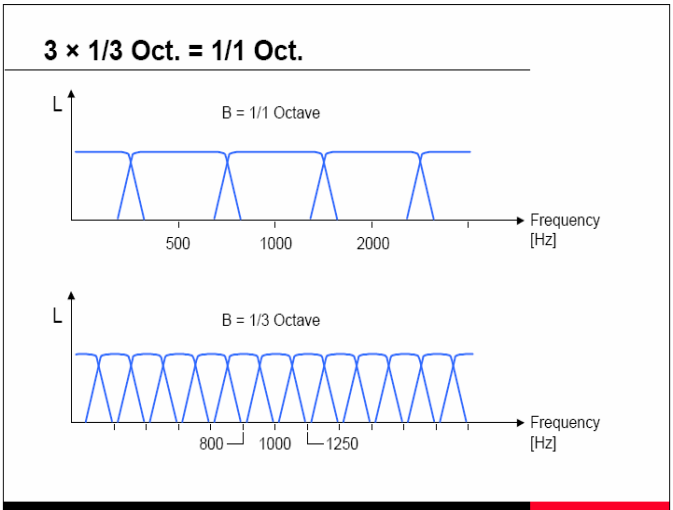


Слика 3. Идеалан филтер од 1/1 и 1/3 октаве

Филтер са најширим опсегом је онај са опсегом од једне октаве. Октава представља фреквенцијски опсег чија је горња гранична фреквенција два пута виша од доње граничне фреквенције. Ипак, често се користе и поделе у мање опсеге. Филтери су обично означени као CPB (constant percent bandwidth) филтери тј. филтери који имају исте константне проценте опсега. Филтер са 1/1 октавом има опсег од близу 70% од његове централне фреквенције  $f_0$ . Најзаступљенији за мерења су филтери са опсегом од 1/3 октаве, тј. ови филтери имају пропусни опсег од око 23% од централне фреквенције  $f_0$  слика 3. Једна од предности ових филтера је и та да такав опсег за фреквенције изнад 500 Hz добро одговара селективности фреквенција људског слушног система. CPB филтери нпр. 1/1 октава, углавном се приказују на логаритамској фреквенцијској скали, док се филтери са константним ширином пропусног опсега приказују на линеарној скали слика 4. Три суседна терцна филтера дају један октавни филтер са централном фреквенцијом, која је једнака централној фреквенцији средишње терце слика 5.

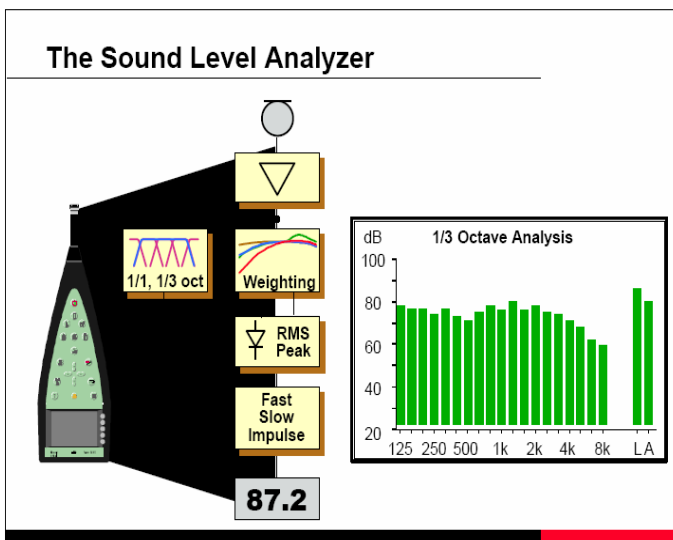


Слика 4. Логаритамски приказ облика сигнала СРВ

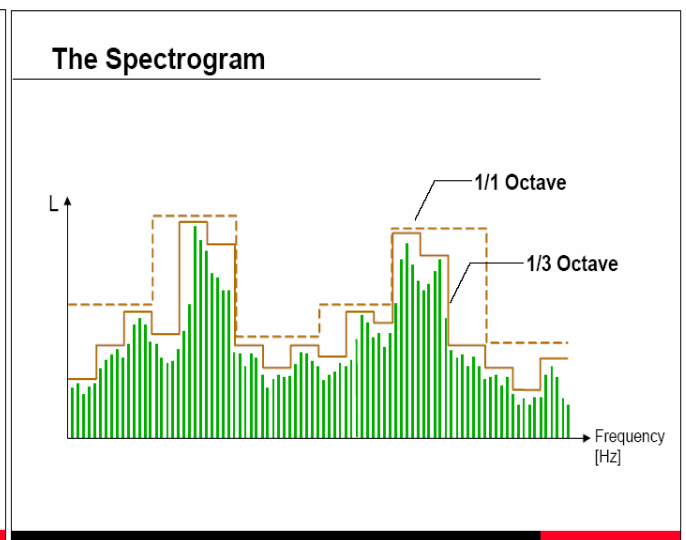


Слика 5. Облик сигнала 1/1 и 1/3

Фреквенцијска анализа сигнала звука врши се мерилима нивоа звука који имају банку 1/1 или 1/3 октавних филтера, који могу бити повезани серијски или паралелно. Мерила звука који имају банку серијски везаних филтера анализу сигнала врше тако да је тренутно активан само једна филтер, што захтева дуже време анализе и поље звука треба бити стационарно. Мерила нивоа звука са банком паралелно везаних филтера скупља су, али су много бржа у раду и није потребно да сигнал звука буде стационаран. Данашњи савремени анализатори нивоа звука могу функционисати као обична мерила нивоа, а уз интегрисане банке паралелних филтера функционишу и као фреквенцијски анализатори сигнала. Савремени анализатор звука опремљени су комплексним дисплејом који истовремено показује све резултате мерења, како фреквенцијске анализе тако и вредности нивоа сигнала звука са придруженим различитим тежинским функцијама као на слици 6.



Слика 6. Приказ анализатора звука



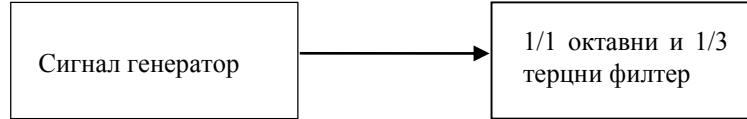
Слика 7. Спектар сигнала подељен на 1/1 и 1/3

На слици 7 је приказан један детаљан сигнал добијен на анализатору звука са бројним фреквенцијским компонентама различитих нивоа. Упоредо са сигналом приказани су облици сигнала за одговарајуће филтере, и то:

- испрекиданом линијом приказан је облик сигнал који би добили 1/1 октавном анализом и
- пуном линијом показан је облик сигнала када се користи 1/3 октавна анализа, где је уочљива повећана резолуција која даје више детаља него 1/1 октавна анализа.

## ПОСТУПАК ЕТАЛОНИРАЊА ОКТАВНОГ И ТЕРЦНОГ ФИЛТЕРА

Одређивање фреквенцијске карактеристике релативног слабљења октавног и терцног филтера врши се према блок-шеми на слици 8, према стандарду SRPS EN 61260-3, тачка 10.2. На улаз филтера који се еталонира, са генератора сигнала, доводи се континуални сигнал одређене амплитуде и централне фреквенције  $f_0 = 1 \text{ kHz}$ , тако да се очитава референтна вредност нивоа звучног притиска од  $a_c = 94 \text{ dB}$ .



Слика 8. Блок-шема повезивања опреме

Фонометар треба да буде подешен на фреквенцијску пондеризацију Z (LIN, FLAT) и временску пондеризацију Fast. На улаз се доводи сигнал исте амплитуде, за фреквенције  $f_{zad}$  рачунатим према једначини (4) за октавни филтер,

$$f_{zad} = f_0 * 2^{k/2} \quad (4)$$

за вредности фактора  $k = 0, \pm 1, \pm 2$  и  $\pm 3$ ;

као и према једначини (5) за терцне филтере,

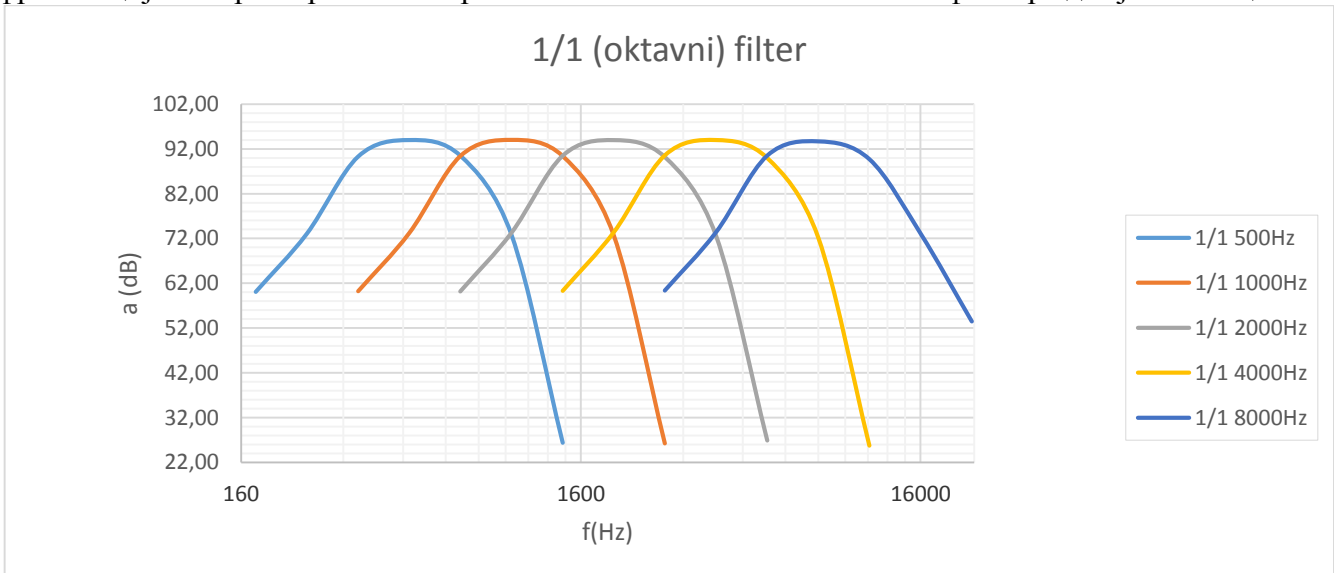
$$f_{zad} = f_0 * 2^{k/6} \quad (5)$$

за вредности фактора  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4, \pm 5, \pm 6$  и  $\pm 7$ ;

Релативно слабљење фреквенцијске карактеристике филтера,  $\Delta a$  се одређује као слабљење измерених нивоа звука  $a_k$  на задатим и централним фреквенцијама за сваки филтер према једначини (6):

$$\Delta a = a_k - a_c \quad (6)$$

За сваку задату фреквенцију  $f_{zad}$  при промени  $k$  на филтеру се очитава релативно слабљење  $\Delta a$  и добија се фреквенцијска карактеристика слабљења филтера на централној фреквенцији. Приказ фреквенцијске карактеристике са релативним слабљењем за октавни филтера дат је на слици 9.



Слика 9. Фреквенцијска карактеристика релативног слабљења филтера

## ПРОРАЧУН МЕРНЕ НЕСИГУРНОСТИ

У Табели 2 у складу са Упутством [1] дат је, преглед утицајних величина при одређивању мерне несигурност филтара.

Табела 2. Прорачун мерне несигурности фреквенцијске карактеристике за 1/1 октавни и 1/3 терцни филтер

Улазне величине	
$\delta U_{cal}$	Тачност задавања улазног напона
$\delta A_{rez}$	Резолуција читавања нивоа звучног притиска
$\delta A$	Тачност читавања нивоа звучног притиска
Математички модел за мерење релативног слабљења	
$A = \delta U_{cal} + \delta A_{rez} + \delta A$	

Тачност задавања улазног напона ( $\delta U_{cal}$ ): тачност задавања улазног наизменичног напона одређене фреквенције на улазу у филтер износи 0,0002 % што је око 0,00002dB. Уз правоугаону расподелу стандардна мерна несигурност се добија дељењем са  $\sqrt{3}$ .

Резолуција читавања нивоа звучног притиска ( $\delta A_{rez}$ ): резолуција читавања нивоа звучног притиска износи 0,1 dB. Уз правоугаону расподелу стандардна мерна несигурност се добија дељењем са  $2 \cdot \sqrt{3}$ .

Тачност читавања нивоа звучног притиска ( $\delta A$ ): тачност читавања нивоа звучног притиска код филтера износи 0,25 dB. Уз правоугаону расподелу стандардна мерна несигурност се добија дељењем са  $\sqrt{3}$ .

Корелације: Сматра се да не постоје значајне корелације улазних величина које треба да се узму у прорачун мерне несигурности.

У прорачуну мерне несигурности није узимата температура јер нема утицаја на резултате мерења.

Проширена мерна несигурност  $U$  је производ комбиноване мерне несигурности и фактора покривања  $k = 2$ . За нормалну расподелу ова проширена мерна несигурност одговара вероватноћи од 95 %.

Табела 3. Приказ буџета мерне несигурности за проверу фреквенцијске карактеристике

Утицајна величина $X_i$	Процена $x_i$	Стандардна несигурност $u(x_i)$	Функција расподеле	Коефициент осетљивости $c_i$	Допринос несигурности $u_i(y), dB$
Тачност задавања улазног напона ( $\delta U_{cal}$ )	0	0,00002	правоугаона	1,00	0,000012
Резолуција читавања улазног напона ( $\delta A_{rez}$ )	0	0,0289	правоугаона	1,00	0,0289
Тачност читавања нивоа звучног притиска ( $\delta A$ )	0	0,1443	правоугаона	1,00	0,1443
Укупна мерна несигурност $A$					0,1472
Проширена мерна несигурност, $U(k=2)(dB)$					0,2944

Резултат мерења: провера фреквенцијске карактеристике при провери релативног слабљења дата је са проширеном мерном несигурношћу од  $\pm 0,3$  dB.

## ЗАКЉУЧАК

У раду је дат поступак еталонирања са прорачуном мерне несигурности октавних и терцних филтера у Техничко опитном центру у метролошкој лабораторији МЛ 03. Увођењем ове методе, према стандарду SRPS EN 61260-3 тачка 10.2, проширене су мерне могућности лабораторије и омогућено је корисницима да могу своје уређаје еталонирати и даље их користити у свом раду, у мерењима која се врше у циљу примене законских регулатива у области заштите на раду и заштити животне средине. Сам поступак еталонирања је захтеван, јер стандард прописује да се провера изврши за све централне фреквенције како за октавне тако и за терцне филтере у односу на фактор  $k$ . Тренутно се еталонирање изводи ручно, а у наредном периоду потребно је извршити аутоматизацију мерног места за мерење релативног слабљења по свим фреквенцијама уз генерисање фреквенцијске карактеристике.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мирјана Младеновић, Упутство за еталонирање октавног и терцног филтера Ц 43 062, Београд 2021.
- [2] SRPS EN 61260-3: 2017, *Electroacoustics, Octave-band and fractional-octave-band filters Part 3. Periodic tests*, т.10.2.
- [3] SRPS EN 61260-1: 2014, *Electroacoustics, Octave-band and fractional-octave-band filters Part 1. Specification*, т.5.10
- [4] Драгана Шумарац Павловић, Миомир Мијић, *Електроакустика*, Београд 2017
- [5] Момор Р. Прашчевић, Драган с. Цветковић, Дарко И. Михајлов, *Бука у животној средини*, Факултет заштите на раду у Нишу, друго издање 2018.
- [6] *Basic frequency analysis of sound*, Brüel&Kjær BA7669-11, Denmark