

How to assess and improve the quality of voice services in telephone communication and alarm systems in mines

The article presents selected objective and subjective methods to assess the quality of voice services in telephone communication. The authors described the impact of the line and acoustic echo phenomena and ambient noise on the functions of telephone communication systems with respect to the speakerphone mode. Additionally, they discussed the possibilities to apply digital technology to improve the quality of voice services in telephone communication and alarm systems.

Keywords: telephone communication, alarm communication, safety, telecommunication, voice transmission, noise reduction

1. INTRODUCTION

Telephone communication and alarm systems in mines are key elements for safe functioning of modern deep mines [15]. They enable to transfer commands, warnings (including alarms) or reports. In order to function properly, these systems should have proper quality of voice transmission in the conditions of underground mines.

The objective of this article is to present the issue how to assess the quality of voice services and the phenomena which impact this quality.

2. VOICE SERVICES QUALITY ASSESSMENT

The assessment of phenomena which we sense (e.g. by hearing or seeing them) is a very complex process. This refers to the assessment of telephone conversation quality too. In order to assess the quality it is not enough to make simple measurements of certain physical quantities, such as attenuation of the connection or frequency characteristics of this attenuation. There are a number of methods to assess the quality of a telephone conversation. The methods can be divided into [12]:

- subjective methods based on listening to the conversation in defined conditions and subjective assessment of the quality of the conversation or the conversation fragments that one can hear,
- objective methods based on the registration of the conversation fragments and their advanced analysis which gives a suitable result of the assessment.

Assessment methods are often used to check the impact of some telephone parameters or telephone circuit parameters on the conversation quality.

The following methods are subjective:

- logatom articulation [17] – listening to logatoms (phonetic elements without any meaning in the native language of people who take part in the measurements) read by a reader; the result is the ratio of the number of properly heard logatoms to the total number of logatoms in the text,
- semantically unpredictable sentences¹ [11] – listening to semantically unpredictable sentences read by the reader; the result is the percentage of properly received sentences or words, depending on the adopted method,

¹ artificially generated sentences which, though consisting of correct words, do not have any logical sense, therefore they are semantically unpredictable (a word which is not understood by the listener cannot be deducted from the sense of the whole sentence). The sentence has proper syntax, words are used in accordance with grammatical rules but the semantics of the sentence is completely disturbed.

- MOS (Mean Opinion Score) [4, 7] referring to:
 - ACR (Absolute Category Rating). MOS for the ACR method is determined as the average value of the assessment of all participants (in the scale from 1 to 5) in 3 categories: absolute rating, listening effort, volume,
 - DCR (Degradation Category Rating). MOS for the DCR method is determined as the average value of the assessment of all participants (in the scale from 1 to 5),
 - CCR (Comparison Category Rating). MOS for the CCR method is determined as the average value of the assessment of all participants (in the scale from -3 to +3).

The following methods are objective:

- comparison methods, such as:
 - **PSQM** [9] (Psycho-Acoustic Speech Quality Measure), which is based on comparing the input signal (artificial speech acc. to [P.4]) and the output signal after complex transformations. The signal comparison result is presented in the MOS scale,
 - **PAMS** (Perceptual Analysis Measurement System), which is based on comparing the input signal and the output signal after complex transformations with the use of the so called audibility transform. The signal comparison result is presented in the MOS scale,
 - **PESQ** [10] (Perceptual Evaluation of Speech Quality), which can be considered an extension of PAMS,
- **INMD** [5] (In-service Non-intrusive Measurements Device),
- Method according to the P.563 recommendation[6],
- E-model,
- Method for the Assessment of Voice Transmission Quality [1].

3. PARAMETERS WHICH IMPACT THE QUALITY OF VOICE SERVICES

The impact of different parameters on the quality of voice services can be investigated in the situations of listening, speaking, conversation, and ambient noise influence [2].

The quality of a voice service in the situation of **listening** is affected by the following parameters:

- volume (with respect to a conversation between two persons standing within 1-metre distance from each other),
- sound quality depending on the parameters of a transmission system, such as band width, fre-

quency characteristics, signal-noise ratio, distortions,

- understandability which is particularly important in the presence of noises.

The quality of a voice service in the situation of **speaking** is affected by the following parameters:

- local effect of the speaker's phone,
- echo evoked by manifold systems and a coupling of the microphone and the receiver (loudspeaker) in the listener's telephone.

The quality of a voice service in a **conversation** is affected by the following parameters:

- delay (particularly in VoIP systems) – bigger audibility of the echo,
- both persons speaking simultaneously – switching on echo cancellers, amplification regulations, call signal masking by the echo.

Ambient (background) noise impacts the transmission quality in different phases of the conversation, such as: pause, speaking, listening. A speech signal can be distorted by noise reduction systems while the reception of the signal can be disturbed by ambient noise. The speech signal quality in the presence of noise becomes one of the most essential parameters of the voice service.

4. ECHO PHENOMENON IN TELEPHONE COMMUNICATION SYSTEMS

Voice services in telephone communication systems are characterized by simultaneous two-way signal transmission. Some elements of the telecommunications network can transmit signals in both directions at the same time, which is called a two-wire system (e.g. telecommunications cables). Some elements, in turn, such as amplifiers or switching networks of digital telephone exchanges, are one-way elements and require two separate ways (channels), one for each direction. This is called a four-wire system. The connection of two- and four-wire systems requires that a splitter should be used. A splitter-type system is an element with 4 ports (Fig. 1). In the balanced state the balancer ensures signal transmission between neighbouring connections (e.g. $a - c$, $a - d$, $b - c$, $b - d$), while signal transmission between opposite connections (e.g. $a - b$, $c - d$) is not possible. In the case featured in Fig. 1 it is possible to get the balance if a proper dependency between Z_a and Z_b impedances is ensured. Then the signal from port d will not be transmitted to port c . In the one-line scheme in Fig. 1b, we showed the application of a splitter which is to send the signal from port d to

port *a*, as well as from *b* with added Z_{BAL} impedance. When the balancer is balanced, i.e. when the ratio of Z_L input impedance of the circuit connected to port *a* and Z_{BAL} impedance is $Z_L/Z_{BAL}=k$ (*k* value depends on the structure of the splitter), the signal from port *d* will not be transmitted to port *c*.

Splitters are applied, for example, in anti-local systems in telephones, SLIC systems in digital telephone exchanges and TBI 2 intrinsically safe barriers [14], and ZSD intrinsically safe barriers [16].

Figure 2 presents the operation of a splitter applied in the JANTAR 2 signalling telephone built with the use of an AS2522 system.

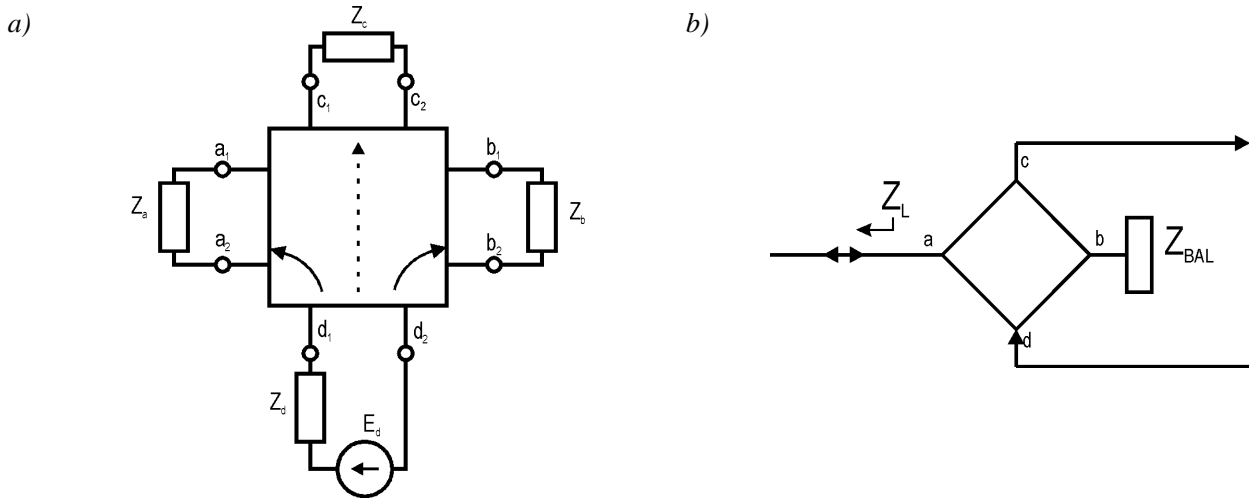


Fig. 1. Splitter – multi-line symbol (a), one-line symbol (b)

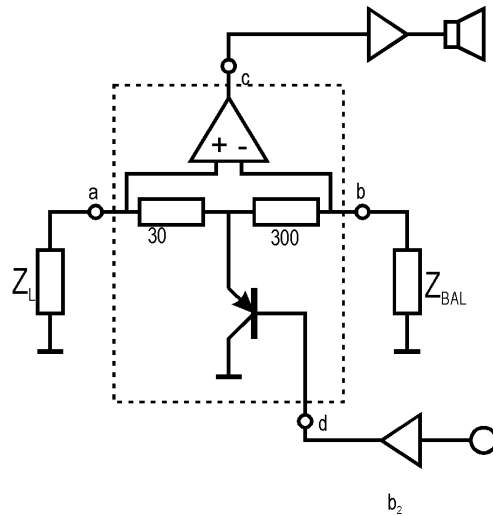


Fig. 2. Splitter operation in a telephone with AS2522 system

A signal from the microphone is sent to the bridge connection. In one arm of the bridge there is a 30Ω resistor and Z_L input impedance of the subscriber circuit. In the other arm of the bridge there is a 300Ω resistor and Z_{BAL} balancing impedance (circuit balancer). The splitter is balance if the $10Z_L=Z_{BAL}$ condition is fulfilled in the whole frequency range of the splitter operations.

Figure 3 presents a sample telephone chain in the system of telephone communication for methane mines. The chain consists of two telephones (working

in the loudspeaker mode), two intrinsically safe barriers and a digital telephone exchange. This configuration has two kinds of echo phenomena:

- acoustic echo evoked by acoustic coupling between the speaker (receiver) and the microphone in the remote phone,
- line echo caused by incomplete balance of splitters in the intrinsically safe barriers and digital telephone exchange,
- local effect caused by incomplete balance of the splitter in the local phone.

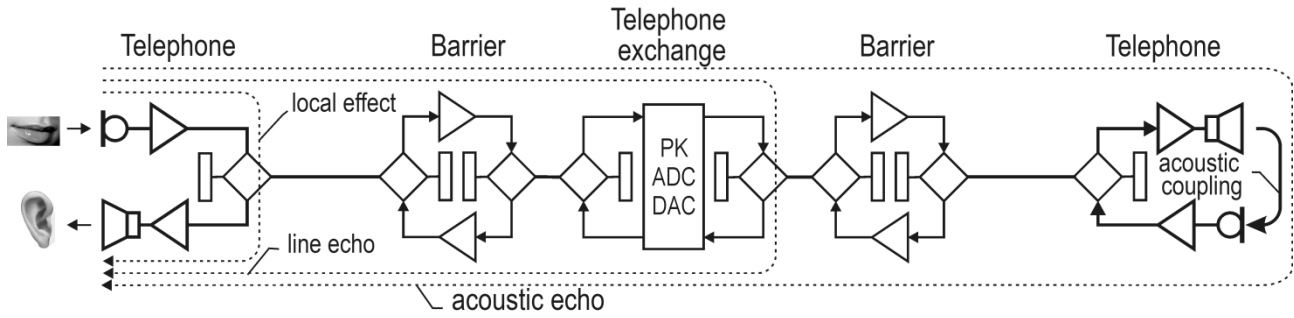


Fig. 3. Sample telephone chain with splitters. PK – switching network, ADC –analogue-digital transformer, DAC – digital-analogue transformer

Sometimes it is possible to have echo evoked by mechanical coupling between the loudspeaker (receiver) and microphone in the phone. In the configuration from Fig. 3 the delays are small ($50\mu\text{s}$ for the 10-km telecommunication cable, a few ms for the digital exchange) and the echo is recognized as a copy of what the user speaks to the microphone. A small delay can happen in the case of the acoustic echo evoked by reverberations from the walls of the room where the remote telephone is placed.

When the telephone works in the speakerphone mode, the balance of the splitter system in the tele-

phone may produce vibrations in this telephone (whistle). This effect is the result of positive feedback in the loop which comprises: the microphone, microphone amplifier, improper path of the splitter system (*d-c*), loudspeaker amplifier, loudspeaker, acoustic coupling of the loudspeaker and the microphone – shown in Fig. 4. This phenomenon can be eliminated by proper enhancement regulation in the microphone and loudspeaker circuit. Such a function is performed by specialized integrated circuits (e.g. AS2522B in the JANTAR 2 signalling telephone [14, 19]).

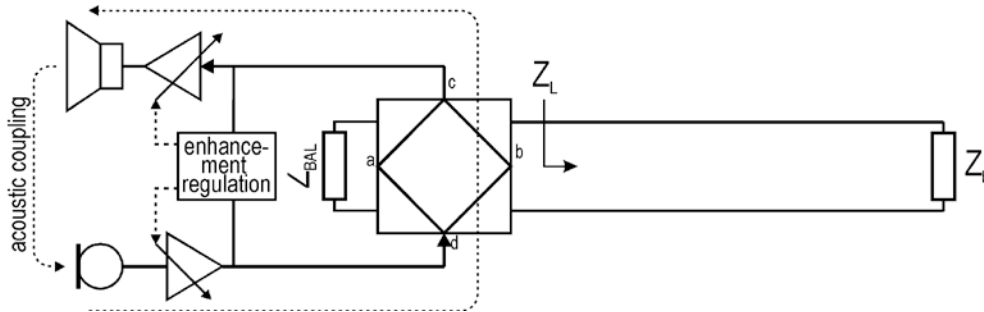


Fig. 4. Evoking vibrations in a loudspeaker telephone

The attenuation of the splitter on an improper path depends on how the frequency characteristics of the Z_{BAL} impedance of the artificial balancing line are adapted to the frequency characteristics of the Z_L impedance of the cable circuit which is closed by the input impedance of a successive telephone chain element (e.g. intrinsically safe barrier). Most frequently, the Z_{BAL} impedance is adapted, approximately, to the catalogue frequency characteristics of the Z_t wave impedance of the cable circuit. In real installations the input impedance of the cable circuit differs from the wave impedance due to loading the circuit with the impedance different from a wave impedance. This situation causes incompatibility of the splitter system. In order to reduce this effect, the JANTAR 2 signalling telephone has a possibility to

control (remotely from the telecommunications server) the Z_{BAL} impedance depending on the length of the cable circuit [14].

The mechanism of echo evoking is slightly different in the case when the VoIP technology is used to provide voice services.

Figure 5 features a sample telephone chain including a VoIP telephone, telephone exchange with a VoIP card and an analogue telephone with an intrinsically safe barrier. In the VoIP telephone and on the VoIP card of the exchange there are codecs with framing (bundling) circuits and buffers for jitter compensation which cause relatively big delays (e.g. 30 ms for framing). In such solutions the users can hear their own echo audibly.

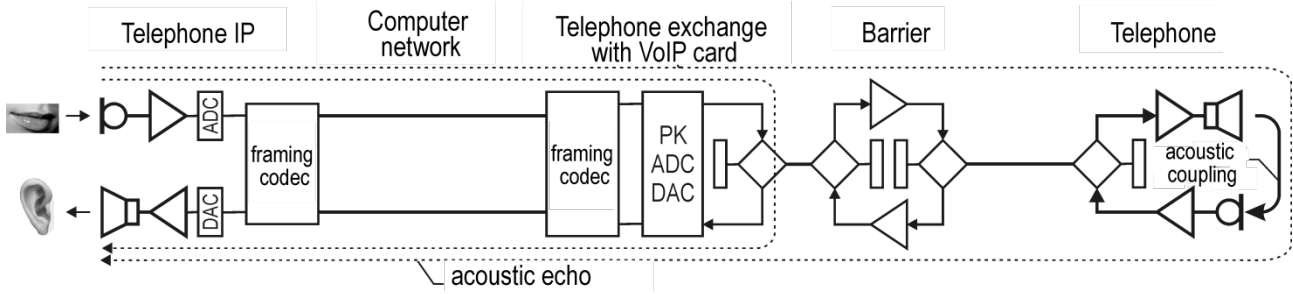


Fig. 5. Sample telephone chain with the use of a digital telephone exchange with VoIP card

5. IMPACT OF NOISE ON THE QUALITY OF VOICE SERVICES IN TELEPHONE COMMUNICATION SYSTEMS

In industrial conditions (including mines) telephones and alarm signalling devices can be installed in places with high noise levels caused by working machines. Ambient noise has a large impact on the quality of voice services.

Figure 6 shows the impact of noise on the listener’s side on the telephone conversation. The listener hears the speech signal from the loudspeaker (receiver) and the ambient noise. The quality of the telephone conversation is affected by the difference between the

level of the desired signal (of the telephone conversation) and the noise level. In addition, the listener’s microphone receives the noise which is transmitted to and heard by the speaker. This also impacts the quality of the voice service.

Figure 7 shows the impact of noise on the speaker’s side on the telephone conversation. The speaker’s microphone receives the speech signal emitted by the speaker and the noise signal. The combination of these two signals is transmitted to the listener’s telephone. At the same time, the noise impacts the speaker’s behaviour and evokes the so called Lombard effect which is the speakers’ tendency to increase their vocal effort, as well as pitch, rate, and duration of syllables [13].

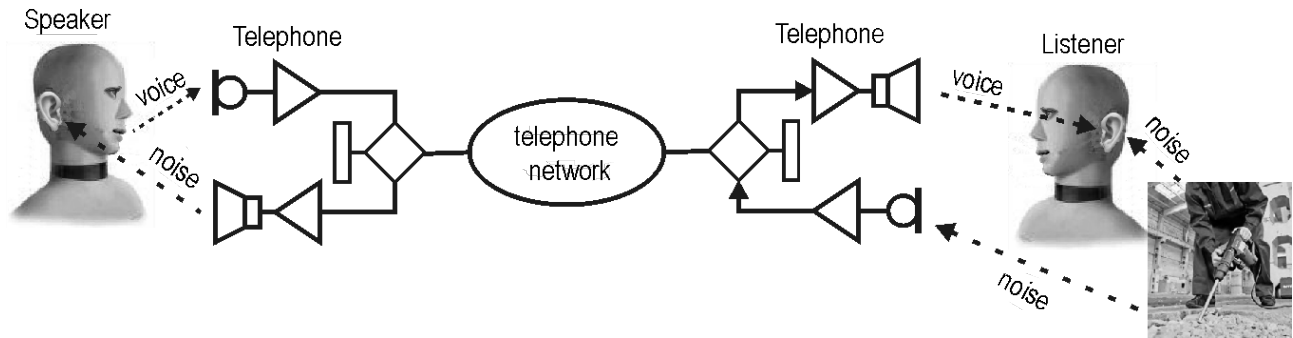


Fig. 6. Impact of noise on the listener’s side on the telephone conversation

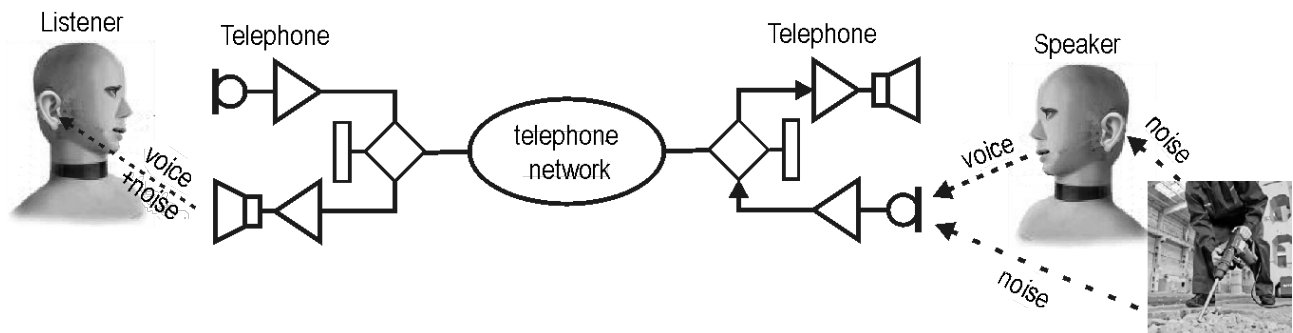


Fig. 7. Impact of noise on the speaker’s side on the telephone conversation

The following methods are used to reduce the impact of ambient noise on the quality of voice services:

- using a handset instead of a loudspeaker whenever possible,
- using a handset and an extra receiver which significantly improves the conditions of listening (the headphones significantly attenuate the noise heard by the user) – see Fig. 8,
- using an extra microphone to compensate the noise or using a differential microphone while ensuring a short distance between the sound

source (mouth) and the microphone – see Fig. 9. In the differential microphone the noise is emitted from the source from a relatively long distance and impacts the microphone membrane in opposite directions, while the signal from the close source (mouth) impacts the membrane only from one direction (such a solution was applied in JANTAR 2 [14]),

- using advance methods of digital processing of voice signals (section 6).

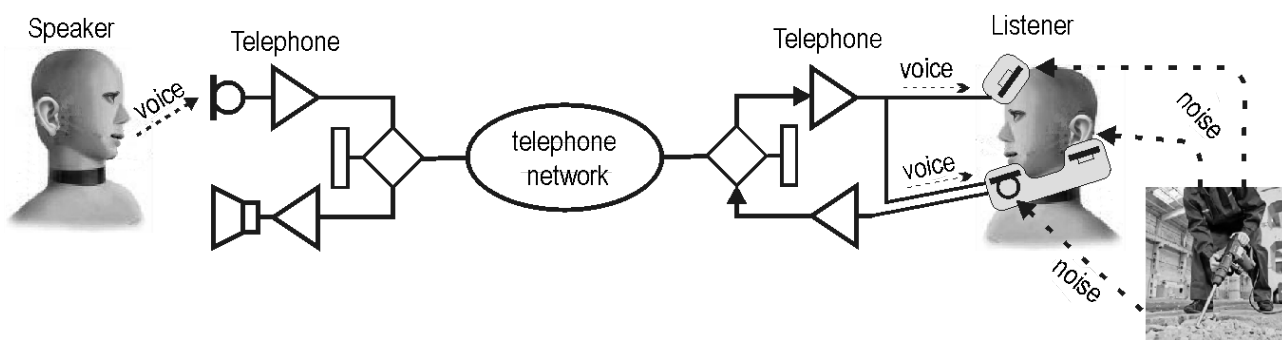


Fig. 8. Reduction of the impact of noise on the listener by means of a handset and an extra receiver

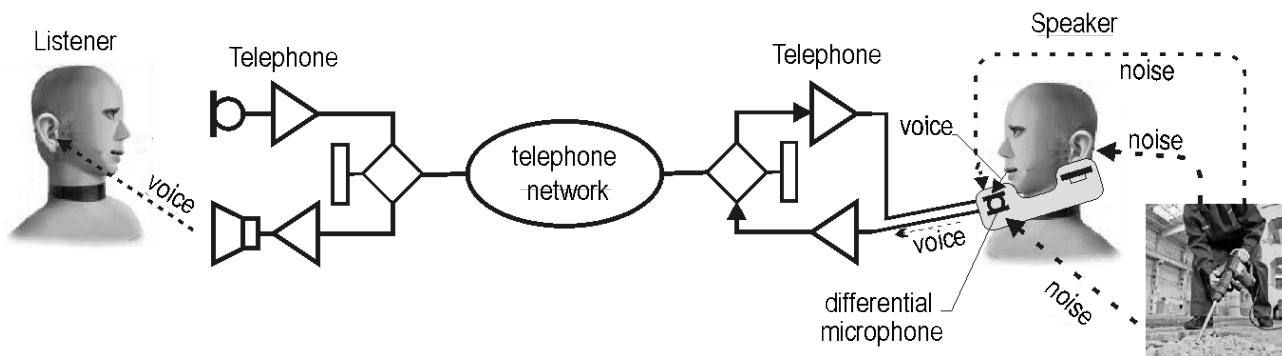


Fig. 9. Reduction of the impact of noise on the speaker by means of a handset with a differential microphone – differential microphone

6. USE OF DIGITAL PROCESSING OF SPEECH SIGNAL TO REDUCE ECHO AND NOISE

- The basic method to reduce the echo phenomenon is:
- good balancing of splitters for line echo,
 - proper location of the microphone and speaker in a loudspeaker phone.

The application of digital technology in telephone communication systems allows further reduction of echo by introducing digital adaptation filters. Figure

10 features a simplified block diagram of a telephone part with an acoustic echo canceller. In the microphone circuit there is a system which deducts the signal coming from the microphone and the signal from the loudspeaker circuit passed through the adaptation filter. The filter is adapted in such a way that the difference between the signal evoked by the acoustic coupling of the loudspeaker and microphone and the output signal of the filter is close to zero. This way the person speaking to the microphone of the remote telephone (not shown in Fig. 10) will not hear the echo evoked by the acoustic coupling.

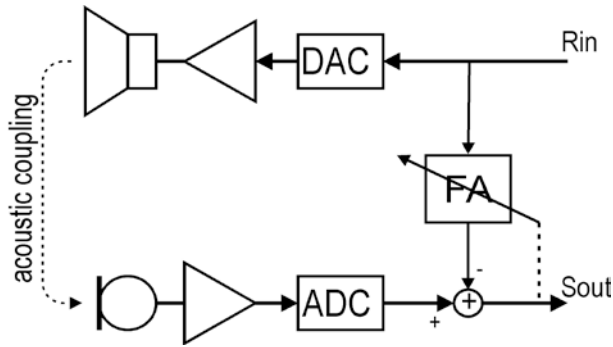


Fig. 10. Simplified block diagram of acoustic echo canceller. ADC –analogue-digital transformer, DAC – digital-analogue transformer

Digital filters (digital echo cancellers) can be used in analogue devices too. Figure 11 presents a simplified block diagram of a telephone with an integrated circuit CS6422 [20] which includes an acoustic echo canceller and a line echo canceller. The line echo canceller has an adaptation filter which is tuned to reduce, as close to zero as possible, the microphone signal which gets through the improper path of the splitter system (d-c) to the loudspeaker circuit. The acoustic echo canceller works similarly to the situation in Fig. 10. The CS6422 circuit comprises indispensable analogue-digital and digital-analogue transformers.

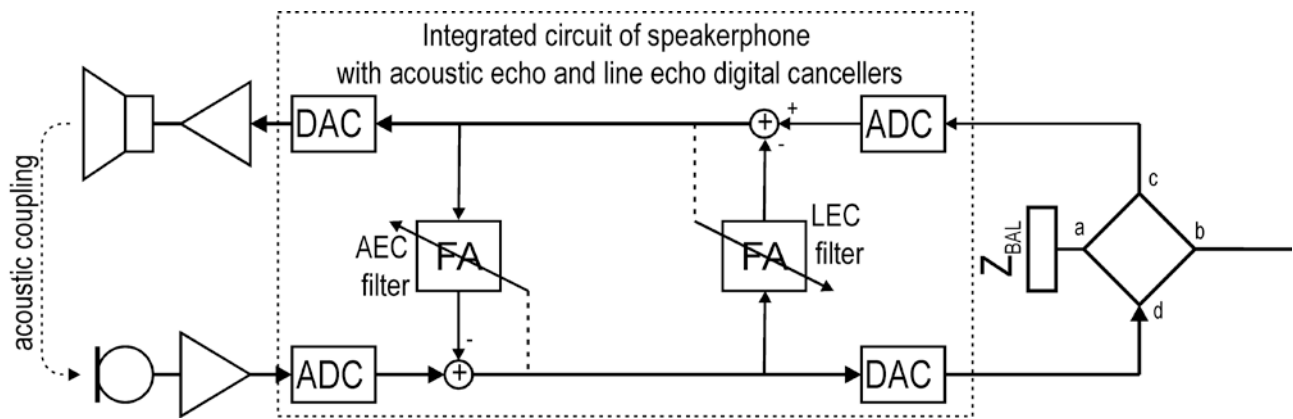


Fig. 11. Simplified block diagram of analogue telephone with digital echo cancellers (CS6422 integrated circuit)

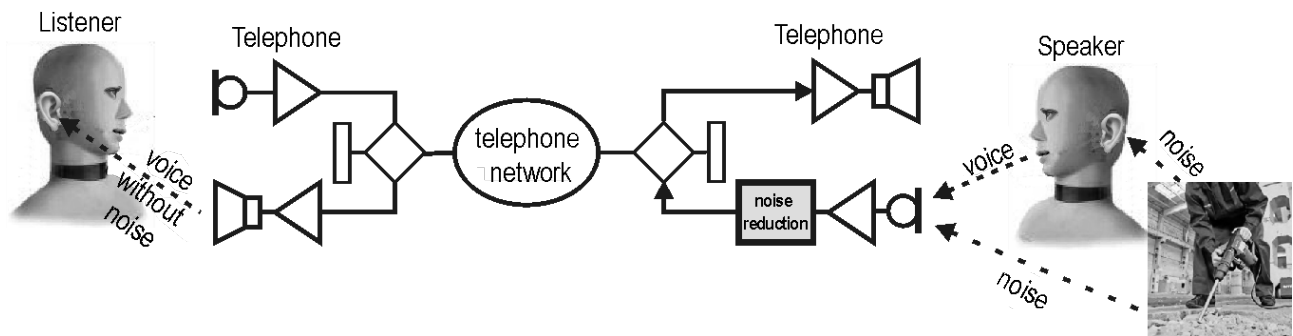


Fig. 12. Simplified block diagram illustrating the possibility to reduce noise level on the speaker's side with the use of a filter (ADC and DAC transformers are not included in the figure)

The use of digital technology allows to improve the quality of voice services in the conditions of noise. If the noise is present near the speaker's telephone (Fig. 12), it is possible to apply a digital filter which reduces the noise by the deduction of noise spectrum from the voice signal spectrum along with noise. The method assumes that the noise spectrum, measured in the pauses of the speech signal, is subject to small changes in short time periods. In addition, it is possible to use an extra microphone (microphones) to measure the noise.

If there is a noise near the listener's telephone, it is possible to use the Near End Listening Enhancement (NELE) method [18]. NELE is based on the measurement of the noise spectrum. Then the speech signal spectrum is modified (level is increased) so that to achieve an indispensable difference between the desired signal and the noise (Fig. 13). In the presence of noise the signal from the loudspeaker has a higher level.

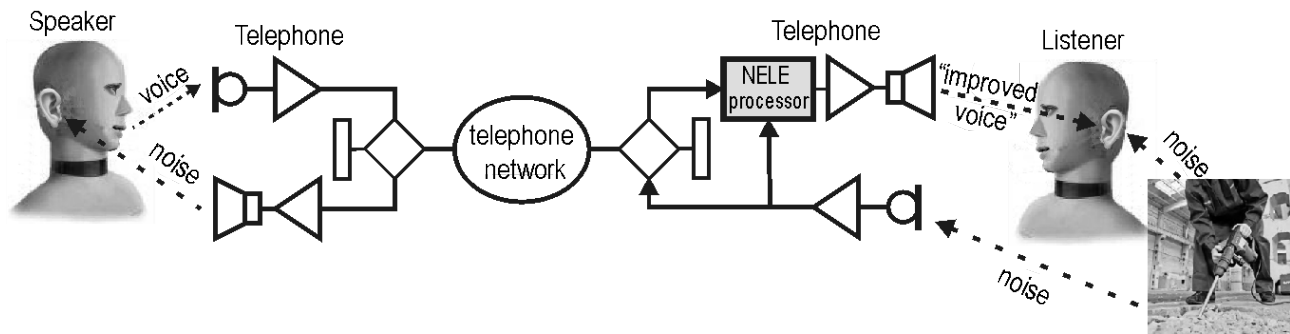


Fig. 13. Block diagram illustrating the possibility to improve the quality of voice service by using the NELE method

7. CONCLUSIONS

Voice services in mines are provided by a number of telecommunications systems, such as telephone and alarm communication systems, VoIP telephone communication systems (stationary and mobile), systems of communication with mobile terminals with the use of different radio communication protocols. The terminals of these systems work in different environments (different acoustic conditions). Currently, it is difficult to assess the quality of voice services in real working conditions of these systems.

It is necessary to adapt existing methods for voice services quality assessment to the needs of mining communication systems, with respect to acoustic conditions and structure of these systems (e.g. the presence of intrinsically safe barriers).

Echo and noise evoked by devices working near the telephone are important phenomena that impact the quality of voice services. The authors of the paper presented analogue-technique methods employed to reduce the impact of these phenomena on the quality of voice services. Additionally, the possibilities of digital techniques were presented for echo cancellation and noise reduction. This way it is possible to improve the functional parameters of communication systems elements in mines.

References

- Apiecionek Ł.: Metoda oceny jakości transmisji głosowej w telefonii VoIP Rozprawa doktorska. (*Method for the assessment of voice transmission quality in VoIP – a doctoral thesis*). Institute of Fundamental Technical Research of the Polish Academy of Sciences, Bydgoszcz 2010.
- CS6422. Enhanced Full-Duplex Speakerphone IC. CirrusLogic
- Gierlich H. W., Kettler F.: Advanced speech quality testing of modern telecommunication equipment: An overview. *Signal Processing* 86 (2006) 1327–1340
- National Institute of Telecommunications: Complex research on telecommunications systems integrated by means of the IP platform to be used by rescue services and other commercial organizations. Stage I, Warszawa 2006
- ITU-T Recommendation P.561 In-service non-intrusive measurement device . Voice service measurements. International Telecommunication Union, July 2002.
- ITU-T Recommendation P.563 Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications. International Telecommunication Union, May 2004.
- ITU-T Recommendation P.800: Methods for Subjective Determination of Transmission Quality. International Telecommunication Union, August 1996.
- ITU-T Recommendation P.832, Subjective Performance Evaluation of Hands-free Terminals, International Telecommunication Union, Geneva, 2000.
- ITU-T Recommendation P.861. Objective quality measurement of telephone band (300-3400 Hz) speech codecs. International Telecommunication Union, February 1998.
- ITU-T Recommendation P.861. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. International Telecommunication Union, February 2001
- Janicki A., Książek B., Kijewski J., Kula S.: Badanie jakości sygnału mowy w telefonii internetowej z wykorzystaniem zdań nieprzewidywalnych semantycznie (*Testing the quality of speech signal in Internet telephones with the use of semantically unpredictable sentences*). *Przegląd Telekomunikacyjny*, No 8-9/2006
- Kobus R., Kowalewski M., Mucha B.: Jakość usługi głosowej w sieciach telekomunikacyjnych (*Quality of voice service in telecommunications networks*) . *Telekomunikacja i Techniki Informacyjne*. 1-2/2010
- Lau P.: The Lombard Effect as a Communicative Phenomenon. UC Berkeley Phonology Lab Annual Report (2008)
- Miśkiewicz K., Wojaczek A., Dzierżko J.: Nowe elementy systemu telekomunikacyjnego HETMAN (*New elements of the HETMAN telecommunications system*). Proceedings on 36th Conference "Telecommunications and Security Systems in Mining" of the Section of Cybernetics in Mining of the Committee of Mining of the Polish Academy of Sciences. ATI 2008. Szczyrk, May 2008.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P.: Systemy dyspozytorskie kopalń podziemnych i ich integracja. Wybrane problemy. (*Supervision systems for underground mines and their integration. Selected issues*). A monograph. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2011.
- Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Identification of dynamic properties of the intrinsically safe barrier for telephone system. Proceedings of IFAC Workshop Automation in Mining, Mineral and Metal Industry MMM'2006. Cracow, September 2006
- PN-90/T-05100, Polish standard. Analogue Communication Systems. Requirements and Methods for Measurement of Logatom Intelligibility. Warszawa 1993
- Premananda B.S., Ravisha B.: Listening Enhancement in Near End Noisy Environment for Intelligibility Improvement IRACST – International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC), Vol.4, No 3, June 2014
- Telephone Line Interface and Speakerphone Circuit. AS2522B. Data Sheet. Austria Mikrosystems.
- Cirrus Logic. Enhanced Full-duplex Speakerphone IC CS6422

KAZIMIERZ MIŚKIEWICZ, ANTONI WOJACZEK
Silesian University of Technology, Department of
Electrical Engineering and Control in Mining
kmiskiewicz@polsl.pl; awojaczek@polsl.pl

Możliwości oceny i poprawy jakości usług głosowych w kopalnianych systemach łączności telefonicznej i alarmowej

Przedstawiono wybrane metody oceny jakości usług głosowych w telefonii z uwzględnieniem metod subiektywnych i obiektywnych. Opisano wpływ zjawiska echa akustycznego i liniowego oraz hałasu otoczenia na funkcjonowanie systemów łączności telefonicznej z uwzględnieniem trybu głośnomówiącego. Omówiono możliwości zastosowania techniki cyfrowej dla poprawy jakości usług głosowych w kopalnianych systemach łączności telefonicznej i alarmowej.

Słowa kluczowe: łączność telefoniczna, łączność alarmowa, bezpieczeństwo, telekomunikacja, transmisja głosu, redukcja szumów

1. WSTĘP

Kopalniane systemy łączności telefonicznej i alarmowej są istotnym elementem dla bezpiecznego funkcjonowania współczesnych kopalń głębinowych [15]. Umożliwiają między innymi przekazywanie poleceń, ostrzeżeń (w tym alarmowych), raportów. Dla realizacji swoich funkcji systemy te powinny cechować się odpowiednią jakością transmisji głosu w warunkach kopalń podziemnych.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie problematyki oceny jakości usług głosowych oraz zjawisk mających wpływ na jakość przekazywanej informacji.

2. OCENA JAKOŚCI USŁUG GŁOSOWYCH

Ocena zjawisk odbieranych naszymi zmysłami (np. słuchu czy wzroku) jest procesem niezwykle złożonym. To stwierdzenie dotyczy również oceny jakości rozmowy telefonicznej. Dla oceny jakości nie są wystarczające proste pomiary pewnych wielkości fizycznych takich jak np. tłumienność łącza, charakterystyka częstotliwościowa tłumienności łącza, itp. Dla oceny jakości rozmowy telefonicznej opracowano szereg metod które można podzielić na [12]:

- metody subiektywne polegające na odsłuchu rozmowy w zdefiniowanych warunkach i subiektywnej ocenie jakości rozmowy czy też usłyszanych fragmentów rozmowy,
- metody obiektywne polegające na rejestracji odebranych fragmentów rozmowy i ich zaawansowanej analizie, która daje odpowiedni wynik oceny.

Często metody oceny są wykorzystywane dla zbadania wpływu niektórych parametrów telefonów, czy łącza telefonicznego na jakość.

Do metod subiektywnych należą:

- badanie wyrazistości logatomowej [17] – odsłuch logatomów (syłab nie mających znaczenia w języku narodowym osób biorących udział w pomiarach) czytanych przez lektora, rezultat badania to stosunek liczby poprawnie odsłuchanych logatomów do całkowitej ich liczby zawartej w tekście,
- zastosowanie zdań nieprzewidywalnych semantycznie¹ [11] - odsłuch zdań nieprzewidywalnych semantycznie czytanych przez lektora, rezultat badania to udział poprawnie odebranych zdań lub wyrazów w zależności od przyjętej metody,

¹ sztucznie wygenerowane zdania, które mimo że składają się z poprawnych słów, to logicznego sensu nie mają, dlatego są semantycznie nieprzewidywalne (z sensu zdania nie można wywnioskować niezrozumianego słowa). Zdania te są poprawne składniowo, słowa są użyte zgodnie z regułami gramatyki, natomiast semantyka zdania jest całkowicie zaburzona.

- ocena w postaci wskaźnika MOS (*Mean Opinion Score*) [3, 7, 8] dotycząca
 - bezwzględnej oceny jakości ACR (*Absolute Category Rating*). Wskaźnik MOS dla metody ACR otrzymuje się jako średnią wartość oceny wszystkich uczestników (w skali 1 – 5) w 3 kategoriach: bezwzględna ocena, wysiłek słuchowy, głośność.
 - stopnia degradacji jakości DCR (*Degradation Category Rating*) Wskaźnik MOS dla metody DCR otrzymuje się jako średnią wartość oceny wszystkich uczestników (w skali 1 – 5)
 - porównawczej oceny jakości CCR (*Comparison Category Rating*). Wskaźnik MOS dla metody CCR otrzymuje się jako średnią wartość oceny wszystkich uczestników (w skali -3 – +3),

Spośród metod obiektywnych można wymienić:

- metody porównawcze takie jak
 - metoda **PSQM** [9] (*Psycho-Acoustic Speech Quality Measure*), która polega na porównaniu sygnału wejściowego (sztuczna mowa wg [P.4]) i sygnału wyjściowego po złożonych przekształceniach. Rezultat porównania sygnału jest przedstawiony w skali MOS,
 - metoda **PAMS** (*Perceptual Analysis Measurement System*), która polega na porównaniu sygnału wejściowego i sygnału wyjściowego po przekształceniach z zastosowaniem tzw. transformaty słyszalności. Rezultat porównania sygnału jest przedstawiony w skali MOS,
 - metoda **PESQ** [10] (*Perceptual Evaluation of Speech Quality*), którą można uważać za rozwinięcie metody PAMS,
- metoda **INMD** [5] (*In-service Non-intrusive Measurements Device*),
- metoda wg zalecenia P.563 [6],
- E-model,
- metoda Oceny Jakości Transmitowanego Dźwięku [1].

3. PARAMETRY WPŁYWAJĄCE NA JAKOŚĆ USŁUG GŁOSOWYCH

Wpływ rozmaitych parametrów na jakość usługi głosowej rozpatruje się w sytuacji słuchania, mówienia, konwersacji oraz wpływu szumów otoczenia [2].

Na jakość usługi głosowej w **sytuacji słuchania** wpływają następujące parametry:

- głośność (w stosunku do rozmowy między ludźmi z odległości 1m),

- jakość dźwięku zależna od parametrów systemu transmisyjnego takich jak szerokości pasma, charakterystyka częstotliwościowa, stosunek sygnału do szumów, zniekształcenia,
- zrozumiałość szczególnie istotna w przypadku obecności szumów.

Na jakość usługi głosowej w **sytuacji mówienia** wpływają następujące parametry:

- efekt lokalny telefonu mówcy,
- echo wywołane układami rozgałęzonymi oraz sprzężeniem mikrofonu i słuchawki (głośnika) w telefonie słuchającego

W **sytuacji konwersacji** na jakość usługi głosowej wpływają

- opóźnienie (szczególnie w systemach VoIP) – zwiększenie słyszalności echa
- jednoczesne mówienie obu rozmówców – włączanie tłumików echa, regulacje wzmocnień, maskowanie sygnału rozmównego przez echo

Szum otoczenia (tła, pomieszczenia) wpływa na jakość transmisji w różnych fazach rozmowy takich jak: przerwa, mówienie, słuchanie. Sygnał mowy może być zniekształcony przez układy redukcji szumów a odbiór sygnału mowy może być zaburzony przez szumy otoczenia. Jakość sygnału mowy w obecności szumów staje się jednym z najistotniejszych parametrów jakości usługi głosowej.

4. ZJAWISKO ECHA W SYSTEMACH ŁĄCZNOŚCI TELEFONICZNEJ

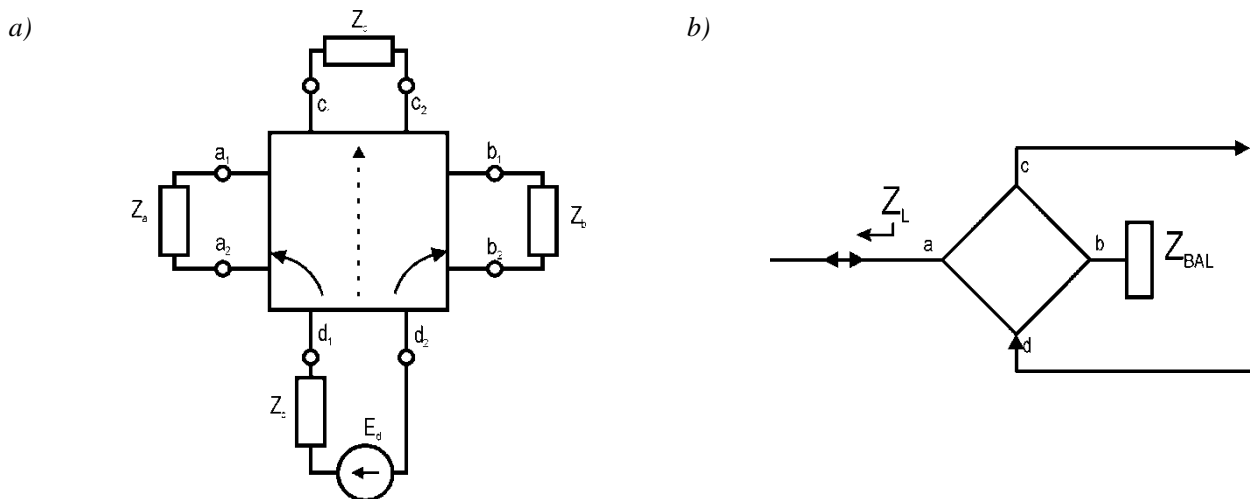
Usługi głosowe w systemach łączności telefonicznej charakteryzują się jednoczesną dwukierunkową transmisją sygnału. Niektóre elementy sieci telekomunikacyjnej mogą jednocześnie transmitować sygnały w obu kierunkach, co bywa nazywane układem dwuprzewodowym (np. kable telekomunikacyjne). Część elementów (np. wzmacniacze, pola komutacyjne cyfrowych central telefonicznych) są elementami jednokierunkowymi i wymagają stworzenia dwóch odrębnych dróg (kanałów) transmisyjnych odrębnych dla każdego kierunku, co bywa nazywane układem czteroprzewodowym. Połączenie układów dwuprzewodowych i czteroprzewodowych wymaga zastosowania układu rozgałęźnego (rozgałęźnika). Układ rozgałęźny jest elementem o 4 przyłączach (portach) – rys. 1). W stanie równoważenia równoważnik zapewnia transmisję sygnałów (jest drożny) pomiędzy przyłączami sąsiednimi (np. $a - c$, $a - d$, $b - c$, $b - d$) natomiast transmisja sygnałów pomiędzy przyłączami przeciwnymi (np. $a - b$, $c - d$) jest niemożliwa.

W przypadku pokazanym na rys. 1 zrównoważenie otrzymamy jeżeli zapewnimy odpowiednią zależność między impedancjami Z_a i Z_b . Wtedy sygnał z portu d nie będzie transmitowany do portu c . W schemacie jednokreskowym (rys. 1b) pokazano zastosowanie rozgałęźnika, który sygnał z portu d ma przesłać do portu a oraz także do portu b z dołączoną impedancją Z_{BAL} . W przypadku zrównoważenia równoważnika tzn. jeżeli stosunek impedancji wejściowej Z_L toru przyłączonego do portu a oraz impedancji Z_{BAL} będzie równy $Z_L/Z_{BAL}=k$ (wartość

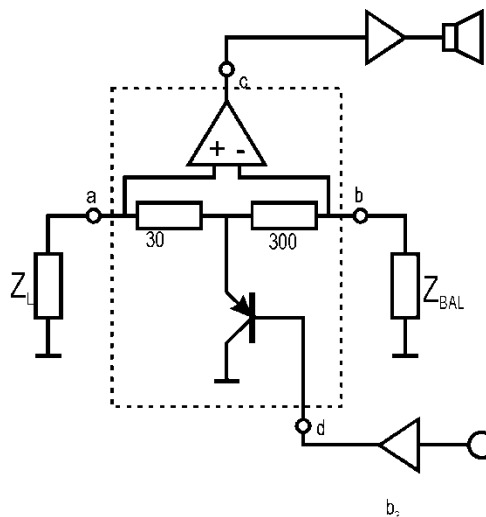
k zależy od budowy rozgałęźnika) sygnał z portu d nie będzie transmitowany do portu c .

Przykładami zastosowania rozgałęźników są układy antylokalne w telefonach, układy SLIC w cyfrowych centralach telefonicznych i barierach iskrobezpiecznych TBI 2 [14], rozgałęźniki w barierach iskrobezpiecznych ZSD [16].

Na rys. 2 pokazano zasadę działania rozgałęźnika stosowanego w telefonie sygnalizatorze JANTAR 2 zbudowanym z zastosowaniem układu AS2522.



Rys. 1. Rozgałęźnik – symbol wielokreskowy (a), symbol jednokreskowy (b)



Rys. 2. Ilustracja działania rozgałęźnika w telefonie z układem AS2522

Sygnał z mikrofonu podawany jest na układ mostkowy. W jednym ramieniu mostka jest rezystor 30Ω i impedancja wejściowa toru abonenckiego Z_L . W drugim ramieniu mostka jest rezystor 300Ω oraz impedancja równoważąca (równoważnik torowy) Z_{BAL} . Rozgałęźnik jest zrównoważony jeżeli jest

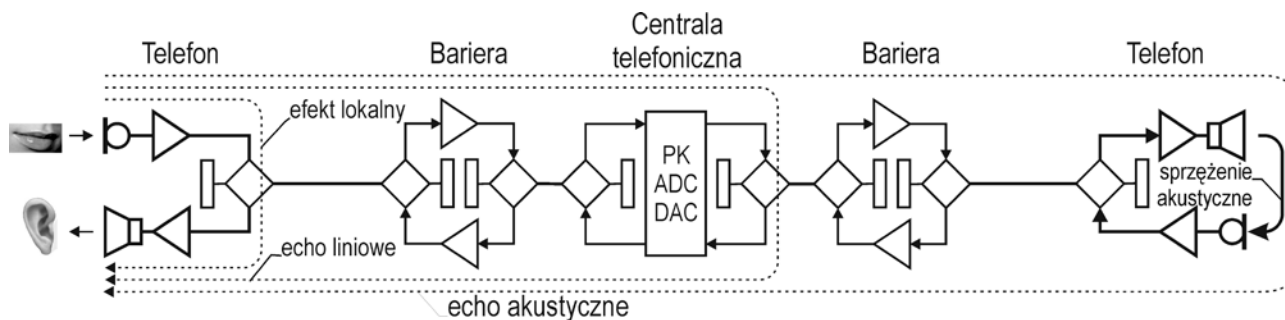
spełniony warunek $10Z_L=Z_{BAL}$ w całym zakresie częstotliwości pracy rozgałęźnika.

Na rys. 3. pokazano przykład łańcucha telefonicznego w systemie łączności telefonicznej dla kopalń metanowych. Łańcuch obejmuje dwa telefony (pracujące w układzie głośnomówiącym), dwie bariery iskrobez-

pieczne oraz cyfrową centralę telefoniczną. W takim układzie występują następujące zjawiska echa:

- echo akustyczne wywołane przez sprzężenie akustyczne między głośnikiem (słuchawką) i mikrofonem w telefonie zdalnym

- echo liniowe spowodowane niepełnym zrównoważeniem rozgałęźników w barierach iskrobezpiecznych i centrali telefonicznej
- efekt lokalny spowodowany niepełnym zrównoważeniem rozgałęźnika w telefonie lokalnym

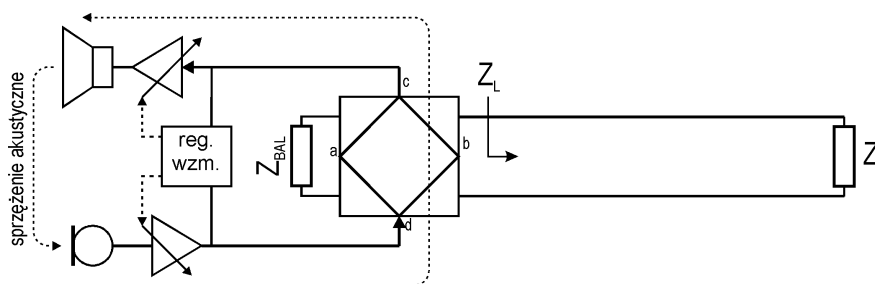


Rys. 3. Przykład łańcucha telefonicznego z zaznaczeniem rozgałęźników. PK – pole komutacyjne, ADC – przetwornik analogowo-cyfrowy, DAC – przetwornik cyfrowo-analogowy

Niekiedy może wystąpić echo wywołane sprzężeniem mechanicznym między głośnikiem (słuchawką) i mikrofonem w telefonie. W układzie z rys. 3. opóźnienia są niewielkie ($50\mu\text{s}$ dla 10 km kabla telekomunikacyjnego, kilka ms dla centrali cyfrowej) i echo jest postrzegane jako kopia tego co użytkownik mówi do mikrofonu. Niewielkie opóźnienie może wystąpić w przypadku echa akustycznego wywołanego odbiciami od ścian pomieszczenia, w którym znajduje się telefon zdalny.

W przypadku pracy telefonu w trybie głośnomówiącym niepełne zrównoważenie układu rozgałęźnego w telefonie może spowodować wytworzenie drgań

w telefonie (gwizd). Efekt ten powstaje na skutek dodatniego sprzężenia zwrotnego w pętli obejmującej: mikrofon, wzmacniacz mikrofonowy, drogę niewłaściwą układu rozgałęźnego ($d-c$), wzmacniacz głośnikowy, głośnik, sprzężenie akustyczne głośnika z mikrofonem, co pokazano na rys. 4. Dla eliminacji tego zjawiska stosuje się odpowiednią regulację wzmocnienia w torze mikrofonowym i głośnikowym. Tego rodzaju funkcję realizują między innymi specjalizowane układy scalone (np. układ AS2522B zastosowany w telefonie sygnalizatorze JANTAR 2 [14, 19]).



Rys. 4. Ilustracja mechanizmu wzbudzenia drgań w telefonie głośnomówiącym

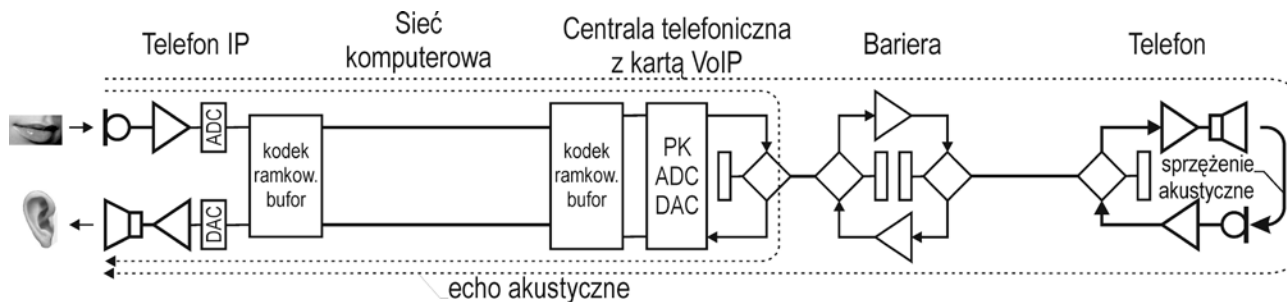
Tłumienność rozgałęźnika na drodze niewłaściwej zależy od tego na ile dopasowana jest charakterystyka częstotliwościowa impedancji równoważnika torowego Z_{BAL} do charakterystyki częstotliwościowej impedancji wejściowej Z_L toru przewodowego zamkniętego na końcu impedancją wejściową następnego elementu łańcucha telefonicznego (np. bariery iskrobezpiecznej). Najczęściej impedancję Z_{BAL} dopasowuje się w przybliżeniu do katalogowej charakterystyki częstotliwościowej impe-

dancji falowej Z_f toru przewodowego. W rzeczywistych instalacjach impedancja wejściowa toru przewodowego różni się od impedancji falowej ze względu na obciążenie impedancją różną od falowej. Powoduje to niedopasowanie układu rozgałęźnego. Dla ograniczenia tego efektu w telefonie sygnalizatorze JANTAR 2 zastosowano możliwość zdalnego ustawienia (zdalnie z serwera telekomunikacyjnego) impedancji Z_{BAL} w zależności od długości toru przewodowego [14].

Nieco inny jest mechanizm powstawania echa w przypadku wykorzystywania techniki VoIP do realizacji usług głosowych.

Na rys. 5. pokazano przykład łańcucha telefonicznego zawierającego telefon VoIP, centralę telefoniczną z kartą VoIP oraz telefon analogowy z barierą iskrobezpieczną. W telefonie VoIP oraz na karcie

VoIP centrali telefonicznej występują kodeki z układami ramkowania (pakietyzacji), buforami dla kompensacji jittera, które wnoszą stosunkowo duże opóźnienia (np. 30 ms dla ramkowania). W tego rodzaju rozwiązaniach użytkownicy mogą wyraźnie słyszeć własne echo.



Rys. 5. Przykład łańcucha telefonicznego z wykorzystaniem cyfrowej centrali telefonicznej z kartą VoIP

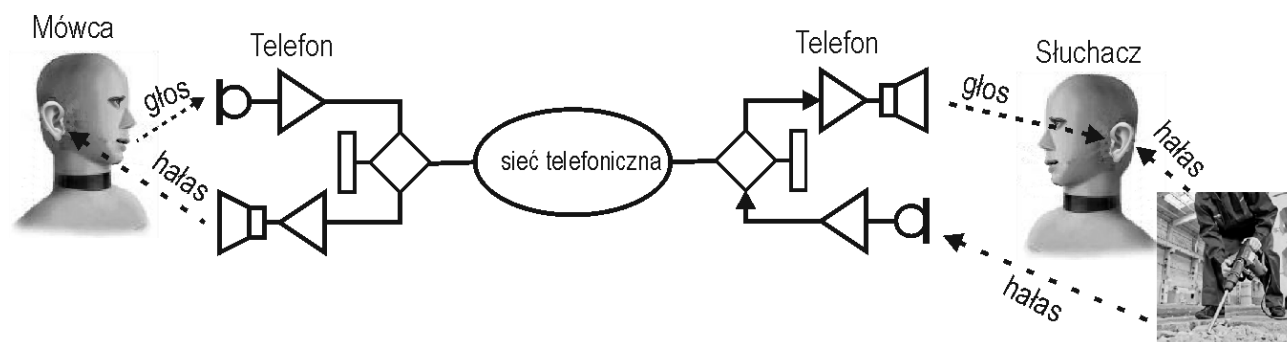
5. WPŁYW SZUMÓW NA JAKOŚĆ USŁUG GŁOSOWYCH W SYSTEMACH ŁĄCZNOŚCI TELEFONICZNEJ

W warunkach przemysłowych (w tym również w kopalniach) telefony a także sygnalizatory alarmowe mogą być instalowane w pomieszczeniach o dużym poziomie hałasu wywołanego przez pracujące maszyny. Hałas środowiska ma duży wpływ na jakość usług głosowych.

Na rys. 6 pokazano wpływ hałasu po stronie słuchacza na prowadzenie rozmowy telefonicznej. Do uszu słuchacza dociera sygnał mowy z głośnika lub słuchawki telefonu oraz hałas środowiska. Na jakość

rozmowy telefonicznej wpływa odstęp pomiędzy poziomem sygnału użytecznego (rozmowy telefonicznej) i poziomem hałasu. Ponadto mikrofon po stronie słuchacza odbiera hałas, który jest transmitowany do mówcy i jest przez niego słyszalny, co też wpływa na jakość realizowanej usługi głosowej.

Na rys. 7. pokazano wpływ hałasu po stronie mówcy na prowadzenie rozmowy telefonicznej. Mikrofon po stronie mówcy odbiera zarówno sygnał mowy wytwarzany przez mówcę jak i hałas i suma obu tych sygnałów jest przekazywana do telefonu słuchacza. Jednocześnie hałas wpływa na zachowanie mówcy wywołując tzw. efekt Lombarda polegający na zwiększeniu natężenia głosu a także zmianie tonacji, tempa i czasu trwania sylab [13].



Rys. 6. Ilustracja wpływu hałasu po stronie słuchacza na rozmowę telefoniczną

Dla zmniejszenia wpływu hałasu pomieszczenia na jakość usługi głosowej stosuje się następujące środki:

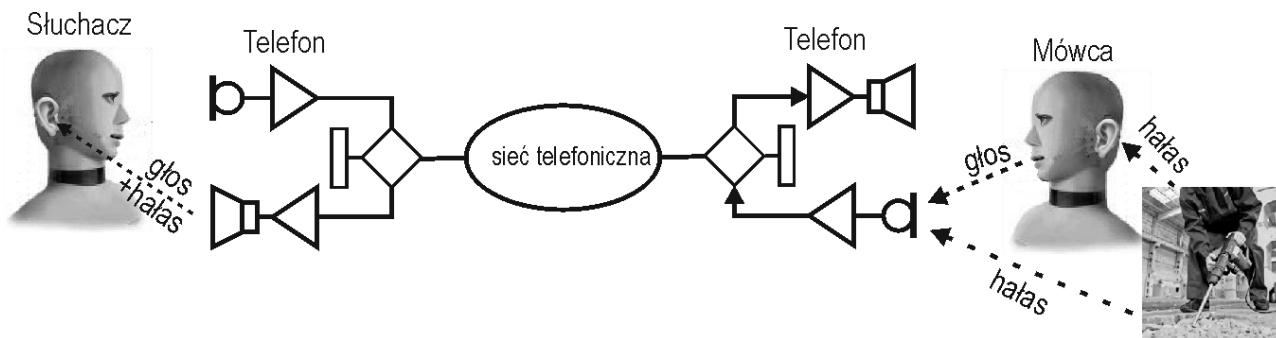
- rezygnacja (tam gdzie to jest możliwe) z korzystania z trybu telefonu głośnomówiącego i korzystanie z mikrotelefonu

- stosowanie mikrotelefonu i słuchawki dodatkowej co w istotny sposób poprawia warunki słuchania głosu (słuchawki tłumią w istotny sposób hałas wnikaający do uszu użytkownika) co pokazano na rys. 8.

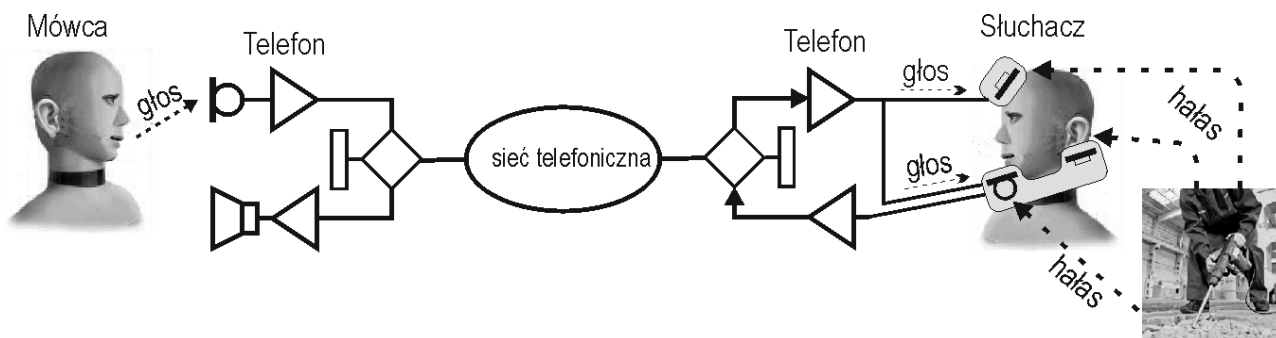
- stosowanie dodatkowego mikrofonu dla kompensacji hałasu lub stosowanie mikrofonu różnicowego przy zapewnieniu małej odległości między źródłem dźwięku (usta) a mikrofonem, co pokazano na rys. 9; W mikrofonie różnicowym hałas emitowany ze źródła ze stosunkowo dużej odległości oddziałuje na membranę mikrofonu

w przeciwnych kierunkach, natomiast sygnał z bliskiego źródła (usta) oddziałuje tylko z jednego kierunku (takie rozwiązanie zastosowano w telefonie sygnalizatorze Jantar 2 [14])

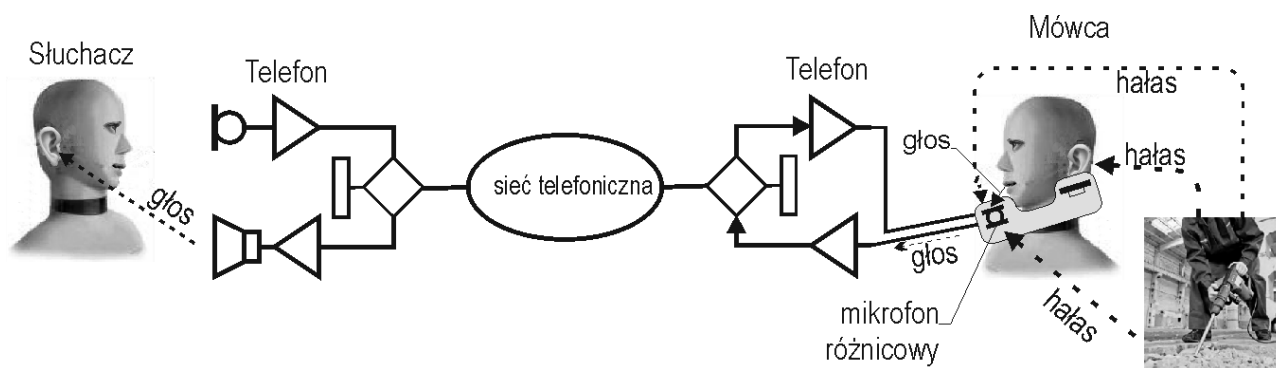
- stosowanie zaawansowanych metod cyfrowego przetwarzania sygnałów głosowych (rozdział 6).



Rys. 7. Ilustracja wpływu hałasu po stronie mówcy na rozmowę telefoniczną



Rys. 8. Ilustracja ograniczenia wpływu hałasu na słuchacza przez zastosowanie mikrotelefonu i słuchawki dodatkowej



Rys. 9. Ilustracja ograniczenia wpływu hałasu na mówcę przez zastosowanie mikrotelefonu z mikrofonem różnicowym

6. ZASTOSOWANIE CYFROWEGO PRZETWARZANIA SYGNAŁU MOWY DO REDUKCJI ECHA I SZUMÓW

- Podstawowym sposobem redukcji zjawiska echa jest:
- dobre zrównoważenie układów rozgałęzionych dla echa liniowego,

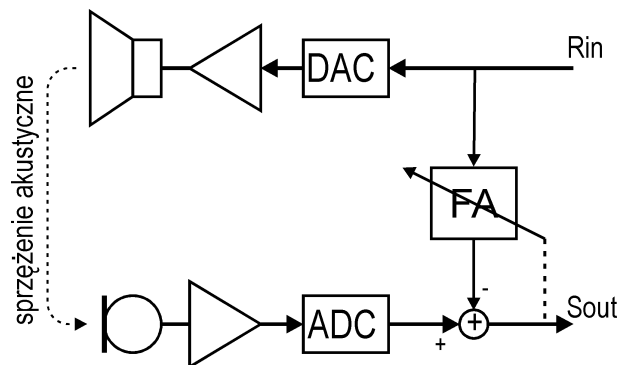
- właściwe usytuowanie mikrofonu i głośnika w telefonie głośnomówiącym.

Wprowadzenie techniki cyfrowej w systemach łączności telefonicznej pozwala na dalszą redukcję echa przez wprowadzenie cyfrowych filtrów adaptacyjnych. Na rys. 10 pokazano uproszczonych schemat blokowy fragmentu telefonu z tłumikiem echa akustycznego. W torze mikrofonu znajduje się układ

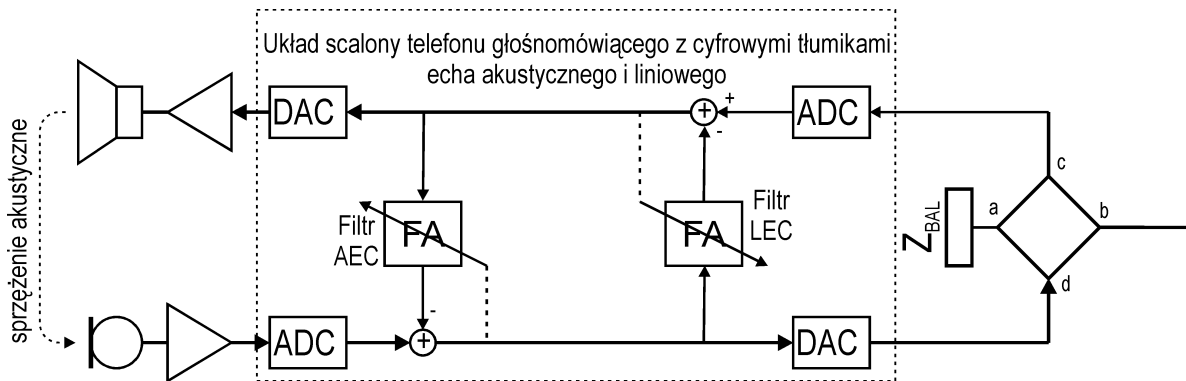
odejmujący sygnał przychodzący z mikrofonu oraz sygnał z toru głośnikowego przepuszczony przez filtr adaptacyjny dostrojony w ten sposób, aby różnica sygnału wywołanego przez sprzężenie akustyczne głośnika i mikrofonu oraz sygnału wyjściowego filtru była bliska 0. W ten sposób osoba mówiąca do mikrofonu zdalnego telefonu (nie pokazanego na rys. 10) nie będzie słyszała echa wywołanego sprzężeniem akustycznym.

Filtry cyfrowe (cyfrowe tłumiki echa) można również zastosować w urządzeniach analogowych. Na rys. 11 pokazano uproszczony schemat blokowy telefonu z układem scalonym CS6422 [20] zawierającym tłumik echa akustycznego AEC² oraz tłumik echa liniowego LEC³. Tłumik echa liniowego zawiera adaptacyjny filtr LEC dostrojony w ten sposób, aby zredukować prawie do zera sygnał mikrofonu przedostający się drogą niewłaściwą układu rozgąłkowego (d-c) do toru głośnikowego. Tłumik echa akustycznego działa podobnie jak na rys. 10. Układ

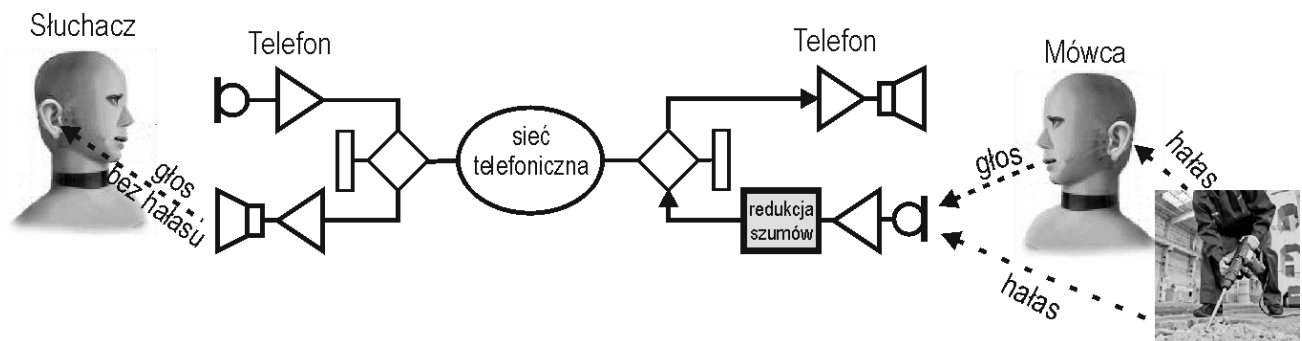
CS6422 zawiera niezbędne przetworniki analogowo-cyfrowe ADC i cyfrowo-analogowe.



Rys. 10. Uproszczony schemat blokowy tłumika echa akustycznego. ADC – przetwornik analogowo-cyfrowy, DAC – przetwornik cyfrowo-analogowy



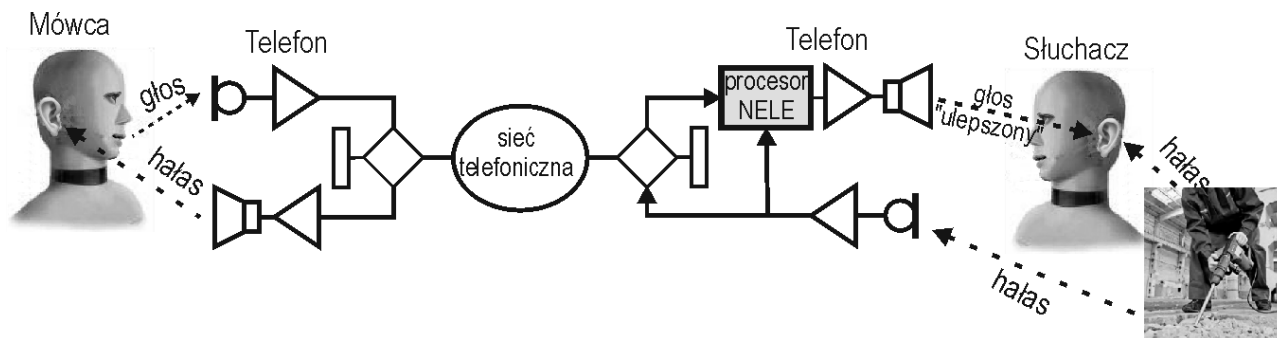
Rys. 11. Uproszczony schemat blokowy telefonu analogowego z cyfrowymi tłumikami echa (układ scalony CS6422)



Rys. 12. Uproszczony schemat blokowy ilustrujący możliwość obniżenia poziomu szumów po stronie mówcy z zastosowaniem filtru (nie narysowano przetworników ADC i DAC)

² ang. Acoustic Echo Canceller

³ ang. Line Echo Canceller



Rys. 13. Schemat blokowy ilustrujący możliwość polepszenia jakości usługi głosowej przez zastosowanie metody NELE

Zastosowanie techniki cyfrowej pozwala poprawić jakość usług głosowych w przypadku obecności hałasu. W przypadku obecności hałasu w pobliżu telefonu mówcy (rys. 12) można zastosować filtr cyfrowy redukujący hałas z zastosowaniem odejmowania widma hałasu od widma sygnału głosu wraz z hałasem. W tej metodzie zakłada się, że w krótkich przedziałach czasu widmo hałasu mierzone w przerwach sygnału mowy ulega niewielkim zmianom. Można również stosować dodatkowy mikrofon (mikrofony) do pomiaru hałasu.

W przypadku obecności hałasu w pobliżu telefonu słuchacza można zastosować metodę NELE⁴ [18]. W metodzie NELE dokonywany jest pomiar widma szumu wywołanego hałasem, a następnie widmo sygnału mowy jest modyfikowane (zwiększanie poziomu) tak by uzyskać niezbędny odstęp sygnału użytecznego od szumu (rys. 13). Sygnał z głośnika w obecności szumu ma wyższy poziom.

7. WNIOSKI

Usługi głosowe w kopalniach są realizowane przez szereg systemów telekomunikacyjnych takich jak ogólnokopalniane systemy łączności telefonicznej i alarmowej, systemy łączności telefonicznej VoIP (stacjonarne i mobilne), systemy łączności z terminalami ruchomymi z wykorzystaniem różnych protokołów komunikacji radiowej. Terminale tych systemów pracują w różnych środowiskach (warunkach akustycznych). Ocena jakości usług głosowych w rzeczywistych warunkach pracy tych systemów jest obecnie utrudniona.

Potrzebne jest zaadaptowanie istniejących metod oceny jakości usług głosowych dla potrzeb górni-

czych systemów łączności uwzględniających warunki akustyczne oraz strukturę tych systemów (np. obecność barier iskrobezpiecznych).

Istotnymi zjawiskami wpływającymi na jakość usług głosowych są echa oraz szumy wywołane hałasem urządzeń pracujących w pobliżu telefonu. W artykule przedstawiono, realizowane technikami analogowymi, sposoby ograniczenia wpływu tego typu zjawisk na jakość usług głosowych. Pokazano również możliwości zastosowania technik cyfrowych do tłumienia echa i ograniczania szumów. Daje to możliwość polepszenia parametrów funkcjonalnych elementów systemów łączności dla kopalń.

Literatura

1. Apiecionek L.: Metoda oceny jakości transmisji głosowej w telefonii VoIP. Rozprawa doktorska. Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, Bydgoszcz 2010.
2. Gierlich H. W., Kettler F.: Advanced speech quality testing of modern telecommunication equipment: An overview. *Signal Processing* 86 (2006) 1327–1340
3. Instytut Łączności, Państwowy Instytut Badawczy.: Opracowanie unikalnej oferty kompleksowych badań systemów telekomunikacyjnych zintegrowanych za pośrednictwem platformy IP przeznaczonych na potrzeby służb ratowniczych i innych organizacji komercyjnych. Etap I, Warszawa 2006
4. ITU-T Recommendation P.50. Artificial voices. Appendix I. Test signals. International Telecommunication Union, February 1998.
5. ITU-T Recommendation P.561 In-service non-intrusive measurement device. Voice service measurements. International Telecommunication Union, July 2002.
6. ITU-T Recommendation P.563 Single-ended method for objective speech quality assessment in narrow-band telephony applications. International Telecommunication Union, May 2004.
7. ITU-T Recommendation P.800: Methods for Subjective Determination of Transmission Quality. International Telecommunication Union, August 1996.
8. ITU-T Recommendation P.832, Subjective Performance Evaluation of Hands-free Terminals, International Telecommunication Union, Geneva, 2000.
9. ITU-T Recommendation P.861. Objective quality measurement of telephone band (300-3400 Hz) speech codecs. International Telecommunication Union, February 1998.
10. ITU-T Recommendation P.862. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. International Telecommunication Union, February 2001

⁴ ang Near End Listening Enhancement

11. Janicki A., Księżak B., Kijewski J., Kula S.: Badanie jakości sygnału mowy w telefonii internetowej z wykorzystaniem zdań nieprzewidywalnych semantycznie. Przegląd Telekomunikacyjny, nr 8-9/2006
12. Kobus R., Kowalewski M., Mucha B.: Jakość usługi głosowej w sieciach telekomunikacyjnych. Telekomunikacja i Techniki Informacyjne. 1-2/2010
13. Lau P.: The Lombard Effect as a Communicative Phenomenon. UC Berkeley Phonology Lab Annual Report (2008)
14. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Dzierżko J.: Nowe elementy systemu telekomunikacyjnego HETMAN. Materiały XXXVI Konferencji Sekcji Cybernetyki w Górnictwie KG PAN. Telekomunikacja i Systemy Bezpieczeństwa w górnictwie. ATI 2008. Szczyrk, maj 2008.
15. Miśkiewicz K., Wojaczek A., Wojtas P.: Systemy dyspozytorskie kopalń podziemnych i ich integracja. Wybrane problemy. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2011.
16. Miśkiewicz K., Wojaczek A.: Identification of dynamic properties of the intrinsically safe barrier for telephone system. Proceedings of IFAC Workshop Automation in Mining, Mineral and Metal Industry MMM'2006. Cracow, September 2006
17. PN-90-T-05100, Analogowe łańcuchy telefoniczne. Wymagania i metody pomiaru wyrazistości logatomowej. Warszawa 1993
18. Premananda B.S., Ravisha B.: Listening Enhancement in Near End Noisy Environment for Intelligibility Improvement IRACST – International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNC), Vol.4, No3, June 2014
19. Telephone Line Interface and Speakerphone Circuit. AS2522B. Data Sheet. Austria Mikrosystems.
20. Cirrus Logic. Enhanced Full-duplex Speakerphone IC CS6422

KAZIMIERZ MIŚKIEWICZ, ANTONI WOJACZEK
Politechnika Śląska
kmiskiewicz@polsl.pl; awojaczek@polsl.pl