

# ÚROVEŇ SIGNÁLU, ÚTLUM A ZISK

## Úroveň signálu

Velikost signálu v každém místě přenosové cesty lze vyjádřit běžnými elektrickými veličinami, tj. napětím a proudem při známé impedanci nebo výkonem. Místo toho ve sdělovací technice obvykle používáme bezrozměrné logaritmické jednotky. Praktických důvodů pro zavádění logaritmických jednotek je několik. Výkon v jednotlivých místech přenosové cesty bývá rozdílný až o několik řádů. Zavedením logaritmických jednotek se zmenší číselný rozsah, se kterým počítáme. Důsledkem toho je také zjednodušené vyhodnocení přenosových vlastností graficky. Zavedením logaritmických jednotek nám přecházejí exponenciální průběhy na průběhy lineární a složité počítání s exponenciálními funkcemi na součin a součet. Další důvody bychom našli v oblasti elektroakustiky. Vjem hlasitosti totiž nevzrůstá lineárně, ale lépe odpovídá logaritmickému vyjádření přírůstku zvukové energie dopadající na ušní bubínek.

Bezrozměrnými logaritmickými jednotkami jsou **bel** a starší **neper**. K definici neperu bylo použito přirozených logaritmů, k definici belu logaritmů dekadických. Pojmenování neper – Np bylo zvoleno na počest objevitele přirozených logaritmů Napiera. Pojmenování bel bylo zvoleno na počest vynálezce telefonu Bella. Pro praktické výpočty je bel jednotkou příliš velkou, proto se zaužívala jednotka desetkrát menší – decibel – dB. Dlouholeté soupeření mezi neperem a decibelem ukončilo jednoznačně rozhodnutí čtvrtého plenárního zasedání CCITT v argentinské Mar del Plata v roce 1968, které rozhodlo, že se v mezinárodním styku až na výjimky bude používat jednotka decibel. Na tato doporučení pak navazují rozhodnutí a směrnice státních orgánů.

**Úroveň signálu L** je obecně definována vztahy:

$$L = 10 \log \frac{P_x}{P} \quad [ \text{dB} ], \quad (1)$$

$$L' = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{P} \quad [ \text{Np} ], \quad (2)$$

kde  $P_x$  je zdánlivý výkon přenášeného signálu v uvažovaném místě přenosu a  $P$  je vztažený zdánlivý výkon. Vztahy (1) a (2) jsme vlastně definovali **výkonovou úroveň signálu**. Následující vztahy definují **napětěovou a proudovou úroveň signálu**:

$$L_u = 20 \log \frac{U_x}{U} \quad [ \text{dB} ], \quad (3)$$

$$L_i = 20 \log \frac{I_x}{I} \quad [ \text{dB} ], \quad (4)$$

$$L'_U = \ln \frac{U_x}{U} \quad [\text{Np}], \quad (5)$$

$$L'_I = \ln \frac{I_x}{I} \quad [\text{Np}], \quad (6)$$

kde veličiny označené indexem  $x$  udávají velikost v místě  $X$  a veličiny bez indexu jsou veličinami vztažnými.

Uvedli jsme zde definiční vztahy pro úroveň signálu vyjádřenou v jednotkách decibel a neper. Dnes již téměř zásadně používáme jednotku decibel. Přesto však existují oblasti (např. teorie vedení), kde je výhodnější používat jednotku druhou – neper. Autoři publikací tak často činí bez uvádění jednotky a na závěr vše přepočtou na decibely.

I když přenos signálu komplexněji popisuje výkonová úroveň, nejčastěji měříme v uvažovaném místě pouze napětí. Odvodme nyní vztah mezi výkonovou a napěťovou úrovní:

$$L = 10 \log \frac{P_x}{P} = 10 \log \left| \frac{U_x^2}{Z_x} \frac{Z}{U^2} \right| = 20 \log \left| \frac{U_x}{U} \right| - 10 \log \left| \frac{Z_x}{Z} \right| = L_U - 10 \log \left| \frac{Z_x}{Z} \right| \quad [\text{dB}]. \quad (7)$$

Pro vyjádření výkonové úrovně můžeme tedy vycházet z úrovně napěťové, přičemž musíme znát impedance, ke kterým se obě napětí vztahují. Podobně bychom mohli odvodit i vztah mezi úrovní výkonovou a proudovou.

U všech tří dosud uvedených výrazů pro úroveň signálu figurovali ve jmenovateli zlomků symboly pro výkon  $P$ , napětí  $U$  nebo proud  $I$ , přičemž jejich velikost nebyla nijak stanovena. Bylo pouze uvedeno, že jsou to hodnoty vztažné, se kterými je uvažovaná veličina srovnávána. Za tyto vztažné hodnoty může posloužit napětí, proud nebo výkon např. na vstupu čtyřpólu, nebo v některém jiném místě přenosové cesty, nebo jakékoliv jiné, libovolně vhodně zvolené hodnoty.

V místě, ve kterém jsou vztažné hodnoty  $U$ ,  $I$  nebo  $P$ , je úroveň považována za nulovou vztažnou úroveň. Úroveň v místě  $X$ , vypočtená podle vzorce (1), se nazývá **relativní výkonovou úrovní** vzhledem ke vztažné nulové úrovni. Totéž platí pro **relativní napěťovou a proudovou úroveň**.

Pro vyjádření absolutní velikosti přenášeného signálu v libovolném místě přenosu je zaveden pojem **absolutní úrovně**. Absolutní výkonová úroveň je dána stejnými výrazy jako relativní úroveň, za  $P$  se však dosazuje hodnota zdánlivého výkonu  $P_0 = 1 \text{ mVA}$ . Na impedanci  $Z = 600 \ \Omega$  tomuto výkonu odpovídá napětí  $U_0 = 0,775 \text{ V}$  a proud protékající impedancí  $600 \ \Omega$  je  $I_0 = 1,29 \text{ mA}$ . Hod-

noty  $U_0 = 0,775$  V,  $I_0 = 1,29$  mA,  $P_0 = 1$  mVA,  $Z = 600$   $\Omega$  se nazývají **referenčními hodnotami**. Pro absolutní úroveň v místě X platí proto vztahy:

$$L = 10 \log \frac{P_x}{P_0} = 10 \log \frac{P_x}{1 \text{ mVA}} = 20 \log \frac{|U_x|}{0,775} - 10 \log \frac{|Z_x|}{600} = L_U - 10 \log \frac{|Z_x|}{600} \quad [\text{dB}]. \quad (8)$$

Absolutní napěťová a proudová úroveň je:

$$L_U = 20 \log \frac{|U_x|}{0,775 \text{ V}} \quad [\text{dB}], \quad (9)$$

$$L_I = 20 \log \frac{|I_x|}{1,29 \text{ mA}} \quad [\text{dB}]. \quad (10)$$

Při měření na impedancích se zanedbatelně malou imaginární složkou přechází zdánlivý výkon 1 mVA v činný výkon 1 mW a absolutní hodnoty napětí proudů a impedancí v rovnicích ztrácejí smysl. Ve skutečných provozních podmínkách se impedance téměř vždy blíží s dostatečnou přesností čistě ohmickému odporu. Vnitřní impedance generátoru na vstupu i zatěžovací impedance bývají při měřeních v přenosové technice taktéž reálné.

K měření absolutní napěťové úrovně se používají voltmetry (měřiče úrovně) cejchované přímo v decibelech. Obvykle mají také stupnici cejchovanou ve voltech.

Při měření na impedanci 600  $\Omega$  je absolutní napěťová i proudová úroveň taktéž rovna absolutní úrovni výkonové. Při jiné impedanci než 600  $\Omega$  je nutno absolutní výkonovou úroveň vyjádřit z naměřené absolutní napěťové úrovně podle rovnice (8).

Normované referenční hodnoty  $P_0 = 1$  mVA (1 mW),  $U_0 = 0,775$  V,  $I_0 = 1,29$  mA,  $Z = 600$   $\Omega$  byly zvoleny proto, aby odpovídaly skutečným poměrům na vedení při telefonním hovoru. Střední elektrický výkon odevzdávaný uhlíkovými mikrofony v době, kdy byly normovány referenční hodnoty, byl přibližně 1 mVA do zátěže okolo 600  $\Omega$ .

V praxi se často setkáme i s jiným označením pro jednotku decibel. Poměrová jednotka decibel se označuje (zejména v tabulkách a diagramech) zkráceně dB, popřípadě dBm, dBr, dBu, dBru. Přehled veličin, jejich názvů a definic je uveden v tab. 1. Pokud by mohlo dojít k nejasnostem ve výkladu zkratk, je vhodné uvádět vztažnou hodnotu v závorce u každé číselné hodnoty, např. 10 dB (1 mW), 120 dB (1  $\mu$ V/m), nebo 30 dB (1  $\mu$ V). Podobně lze v zájmu srozumitelnosti technického textu psát doplňky základní zkratky do závorky, nikoli těsně za ní, např. dB(m), dB(u) nebo dB(ru). Další používanou zkratkou je dBm0p pro absolutní úroveň výkonu, měřenou psfometricky a vztaženou k místu s relativní úrovní nula. Významnou oblastí používání decibelu je elektroakusti-

ka, kde jsou zavedeny další zkratky. V zahraniční literatuře se můžeme setkat se zkratkami dBa, dBa0, dBk, dBrn, dBrnC, dBw, dBx a dalšími. Vždy je v takovém případě vhodné, zjistit k jaké hodnotě je veličina vztahována. Například u velkých vysílačů bývá výkonová úroveň uvedena s jednotkou dBk a vztahnou hodnotou je pak 1 kW.

Tab. 1. : Základní veličiny přenosu

Veličina	Značka	Jednotka	Definice
Absolutní úroveň výkonu	$L_m$	dBm	$L_m = 10 \log \frac{P_x}{P_0}$ $P_0$ – normálový vztahný výkon (1 mW)
Relativní úroveň výkonu	$L_r$	dBr	$L_r = 10 \log \frac{P_x}{P}$ $P$ – vztahný výkon
Absolutní úroveň napětí	$L_u$	dBu	$L_u = 20 \log \frac{U_x}{U_0}$ $U_0$ – normálové napětí (0,775 V)
Relativní úroveň napětí	$L_{ru}$	dBru	$L_{ru} = 20 \log \frac{U_x}{U}$ $U$ – vztahné napětí
Komplexní míra přenosu	G		$G = A + jB$
Útlum (Zisk)	A (S)	dB	$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 10 \log \left  \frac{U_1 I_1}{U_2 I_2} \right  = -S$
Fázový posuv	B	rad	$B = \frac{1}{2} [(\varphi_{U1} - \varphi_{U2}) + (\varphi_{I1} - \varphi_{I2})]$
Útlum napětí	A	dB	$A = 20 \log \frac{U_1}{U_2}$
Zisk napětí	S	dB	$S = 20 \log \frac{U_2}{U_1}$

Pro přepočítání mezi decibely a nepery použijeme vztahů:

$$1 \text{ dB} = 0,11513 \text{ Np}, \quad (11)$$

$$1 \text{ Np} = 8,6858 \text{ dB}. \quad (12)$$

Jde v podstatě o lineární převod logaritmů čísel základu  $e = 2,71828$  na logaritmy čísel základu 10 a naopak.

Decibely jsou oproti neperům vhodné pro rychlý odhad, protože dekadické logaritmy celistvých mocnin deseti jsou celá čísla. Např. poměru výkonů 10, 100, 1000, ..., odpovídá útlum 10, 20, 30, ... dB.

## Útlum a zisk

Energetické poměry ve sdělovací technice vyjadřujeme jiným způsobem než v elektrotechnice silnoproudé. Pro vyjádření přenosových vlastností se nehodí **účinnost** definovaná jako poměr výstupního a vstupního výkonu

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}. \quad (13)$$

Požadovaná účinnost jak při rozvodu elektrické energie, tak i u silnoproudých zařízení a strojů musí být co největší, tj. musí se co nejvíce blížit jedné. Prakticky také bývá poměr výkonů blízký jedné a proto číslo  $\eta$  pro vyjádření energetické účinnosti plně vyhovuje. Ztráty energie se v silnoproudé elektrotechnice uvádějí přímo v jednotkách výkonu.

Jiné jsou poměry při přenosu elektrického signálu ve sdělovací technice. Přenášené výkony bývají nepatrné, řádově miliwattů a mikrowattů. Nemá smysl hovořit o ztrátách v jednotkách výkonu. Energetická účinnost je ve většině případů malá nebo dokonce nepatrná a není jediným ani rozhodujícím kritériem pro hodnocení kvality přenosu informace. K tomu slouží celá řada dalších měřitek.

Poměr výstupního a vstupního výkonu se ve sdělovací technice pohybuje ve značných mezích. Pro vyjádření účinnosti přenosu byly zavedeny logaritmické jednotky. Přitom se místo účinnosti přenosu hovoří o **útlumu**. Pro aktivní čtyřpóly (zesilovače), které odevzdávají na výstupu vyšší výkon než na vstupu, je zaveden pojem **zisk**.

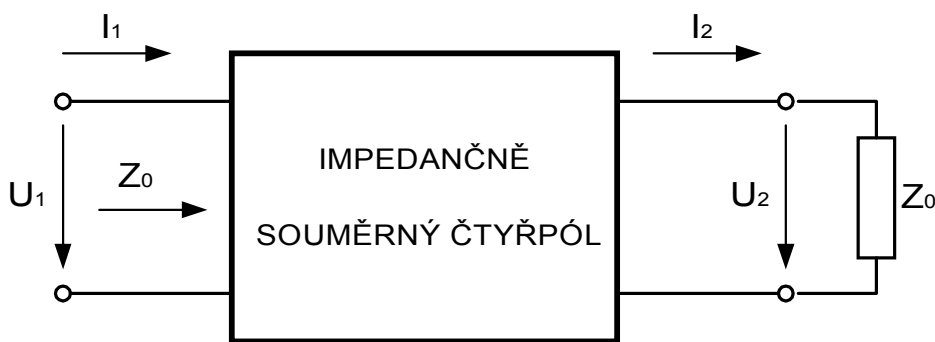
**Útlumem** rozumíme zmenšení některé charakteristické veličiny, měřené na vstupu a výstupu přenosového článku nebo ve dvou místech vedení ... Při přenosu elektrického signálu jsou těmito veličinami napětí, proud nebo výkon. Bezrozměrnou logaritmickou jednotkou pro vyjádření útlumu je decibel (neper). Předpokládejme impedančně souměrný čtyřpól, viz. obr.1., zakončený charakteristickou impedancí  $Z_0$ . Útlum vyjádříme z poměru výkonů, napětí a proudů na vstupu a výstupu čtyřpólu:

$$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}], \quad (14)$$

$$A = 10 \log \frac{\left| \frac{U_1^2}{Z_0} \right|}{\left| \frac{U_2^2}{Z_0} \right|} = 20 \log \left| \frac{U_1}{U_2} \right| \quad [\text{dB}]. \quad (15)$$

Podobně odvodíme

$$A = 20 \log \left| \frac{I_1}{I_2} \right| \quad [\text{dB}]. \quad (16)$$



Obr. 1.

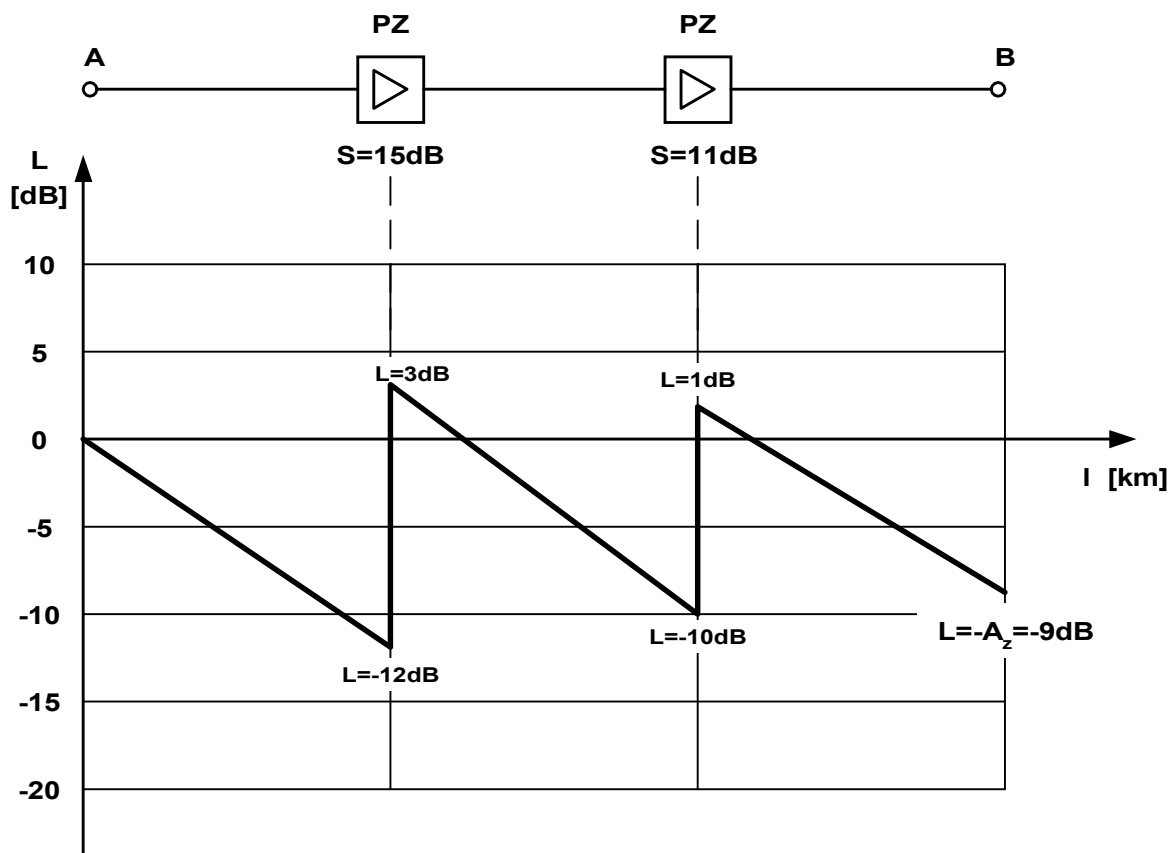
Útlum vypočtený z poměru napětí, proudů nebo výkonu je stejný jen pokud je čtyřpól impedančně souměrný a zakončený charakteristickou impedancí  $Z_0$ . V obecném případě však může být čtyřpól impedančně nesouměrný a zatížený libovolnou impedancí  $Z_Z$ . Pak útlumy vypočtené z poměru napětí, proudů a výkonů jsou rozdílné. Např. pro  $Z_Z = \infty$  přenáší sice čtyřpól napětí a útlum vyjádřený z poměru napětí dá konečnou hodnotu. Výstupní proud však bude nulový a proto útlum vyjádřený z poměru proudů nebo výkonů bude nekonečně velký. Proto je třeba v obecném případě vždy výslovně uvést jaký útlum byl vypočten nebo změřen. Ve sdělovací technice je účelově zavedena celá řada definic útlumu (provozní útlum, zbytkový útlum, vložný útlum ...), z nichž většina vychází ze vztahu (14), liší se však v podmínkách měření. Toto je třeba mít na vědomí. Záporný útlum nazýváme **ziskem**. Záporný zisk představuje naopak útlum. Zisk označme symbolem  $S$ :

$$S = -A, \quad A = -S. \quad (17)$$

Ziskem rozumíme zvětšení některé charakteristické veličiny, měřené na výstupu a vstupu přenosového článku. Např. pro napěťový zisk

$$S_U = 20 \log \frac{U_2}{U_1} \quad [\text{dB}]. \quad (18)$$

## Úrovňový diagram

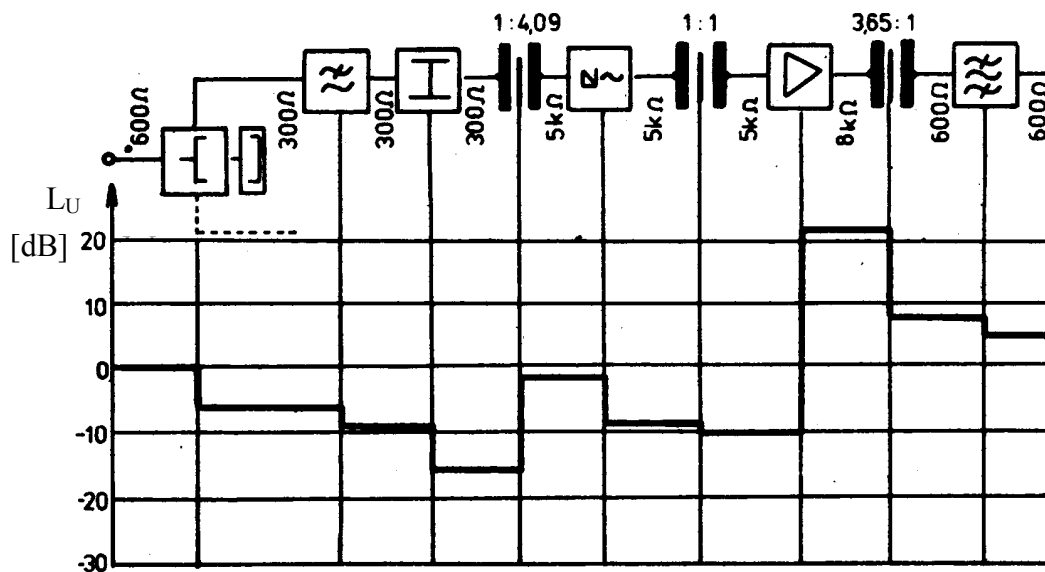


Obr.2. Příklad úrovňového diagramu pro vedení o impedanci  $Z = 600\Omega$  se dvěma průběžnými zesilovači

Grafické zobrazení průběhu úrovně podél vedení nebo jiné přenosové cesty se nazývá **úrovňový diagram**. Úrovňový diagram je v řadě případů jedním z důležitých dokumentů při projektování a údržbě spoje. Jednoduchý příklad úrovňového diagramu pro jeden směr přenosu na vedení o impedanci  $Z = 600\Omega$  je na obr.2.

Úrovňový diagram se někdy kreslí i u schémat složitějších přenosových zařízení. Usnadňuje seřizování zařízení a vyhledávání závady. Výhodnější je v tomto případě vynášet napěťové úrovně. Příklad takového úrovňového diagramu pro vysílací směr nosného systému je na obr.3. Při seřizování nebo vyhledávání závady se připojí na vstup generátor a nastaví se podle diagramu požadovaná úroveň. Postupným měřením se vymezí vadný díl nebo se nastaví ve všech bodech správné úrovně. Délka úseku na podélné ose diagramu nemá ovšem v tomto případě žádný význam. Jelikož při zpracování signálu dochází také ke změnám ve spektru signálu, musí být u úrovňového diagramu uvedeno jakým měřičem má být signál v jednotlivých místech měřen (selektivně, širokopásmově...).





Obr. 3. Příklad úrovněového diagramu vysílacího směru nosného systému



**Alexander Graham Bell** se narodil 3. března 1847 v Edinburgu ve Skotsku, v rodině učitele dětí s vadami sluchu a řeči. Věnoval hudbě a současně se naučil i otcovu povolání. V patnácti letech dokončil střední školu. Začal studovat na univerzitě v Edinburgu, nějaký čas byl učitelem v Elgine, ale potom pokračoval ve studiu medicíny na univerzitě v Londýně. V roce 1871 se i s rodiči vystěhoval do Spojených států amerických, kde získal státní občanství.

Ještě v době působení v Elgine se začal zajímat o akustické pokusy. Studoval Helmholtzovy práce, které ho podnítily zabývat se výzkumem zvukových vln. V roce 1873 se stal profesorem fyziologie hlasu na univerzitě v Bostonu a zde začaly plodné roky jeho vynálezecké činnosti.

V průběhu experimentů s telegrafem na principu tónové telegrafie vynalezl princip telefonu.

V letech 1875 až 1877 mu byly uděleny tři patenty. Vynález telefonu mu přinesl několik soudních sporů, ale nakonec mu bylo jeho prvenství potvrzeno. Dnes je považován za vynálezce prvního prakticky použitelného telefonu, ale asi nikdo už nezjistí, zda tím prvním nebyl Elisha Gray, který svůj patent předložil ve stejný den a snad i stejnou hodinu (14. února 1876). Nakonec okamžik odezdání byl hlavním předmětem sporu.

Při své vynálezecké činnosti se Bell věnoval dvěma hlavním oblastem: laděnému systému mnohonásobné telegrafie a studiu vzduchových vln v uchu po dobu příjmu hlasových zvuků. Sestrojil též více pomůcek a zařízení pro vyučování lidí s vadami sluchu.

Bell se stal zakladatelem výroby telefonů ve Spojených státech amerických. Založil časopis Věda a Americké sdružení pro vyučování řeči. Vykonal záslužnou práci v Smithsonianově ústavu, jehož správcem byl od roku 1898. Londýnská královská společnost mu v roce 1913 udělila Hughesovu medaili. Dožil se ještě obrovského úspěchu svého vynálezu a telefonní společnost, kterou založil, má dodnes ve svém znaku modrý zvon, který pochází z jedné jeho dětské kresbičky.

Alexander Graham Bell zemřel 2. srpna 1922 v Cape Breton Island v kanadském Novém Skotsku.



**John Napier** se narodil v roce 1550 v Merchiston Castle u Edinburgu. Vzdělání získal v Saint Andrews College a potom ve Francii, Itálii, a Holandsku. V roce 1571 se vrátil do Skotska, kde se oženil a žil klidným životem zemana.

Svůj volný čas věnoval náboženským sporům, matematice, astronomii a různým vynálezům. Udělal celou řadu zemědělských experimentů a navrhl různá vojenská zařízení.

Napier bývá považován za vynálezce logaritmů. Se svými logaritmickými studii začal ihned po návratu do Skotska, když byl otřesen pohledem na vyčerpávající počtářské úkony svých současníků.

Napierovým jménem je označeno i několik pravidel prostorové trigonometrie. Důležité pro trigonometrii a astronomii byly též vzorce, známé jako Napierovy analogie pro řešení trojúhelníků, problém, který vlastně Napiera přivedl na myšlenku vynalézt logaritmy.

John Napier zemřel v Merchiston Castle 4. dubna 1617.