

Výkonové spektrum součinnu periodické funkce a Poissonova impulsového procesu

Ing. KAREL VOKURKA

Katedra fyziky, elektrotechnická fakulta ČVUT, Praha

621.391

V článku je odvozen výraz pro výkonové spektrum náhodného procesu, který je vytvořen jako součinnu periodické časové funkce a stacionárního Poissonova impulsového náhodného procesu. Přitom je použita metoda přímého výpočtu výkonového spektra ze spekter jednotlivých realizací zkoumaného procesu. Pro kontrolu je výraz pro výkonové spektrum rovněž odvozen z vnějších charakteristik jednotlivých součinitelů. V závěru jsou diskutovány některé zvláštní případy.

1. Úvod

Impulsové náhodné procesy jsou studovány jak s ohledem na potřeby sdělovací techniky [1], [2], [3], tak v rámci fyziky [4], kde bývají používány jako modely pro některé fyzikální šумы. Zde uvedme jako příklad výstřelový šum v elektronkách, Barkhausenův šum ve feromagnetických materiálech a kavitační šum v kapalinách.

Zvláštní postavení mezi impulsovémi náhodnými procesy zaujímá Poissonův impulsový proces. Protože jednotlivé impulsy tohoto procesu jsou navzájem statisticky nezávislé, je snáze přístupný studiu a je proto také nejdůkladněji prozkoumán. Přitom v mnoha důležitých případech může být právě Poissonův impulsový proces použit jako vhodný model pro zkoumané fyzikální šумы.

Klasickou prací v teorii impulsového náhodného procesu je článek [5], publikovaný Riceem na sklonku druhé světové války. Po druhé světové válce byla teorie impulsového náhodného procesu dále rozpracována v pracích řady autorů. Dostatek odkazů na tyto práce je možné nalézt v knihách [1] až [4]. Přesto jsou mnohé teoretické i praktické problémy stále ještě nepracované. Mezi tyto dosud nevyřešené, případně jen částečně vyřešené problémy patří řada otázek, týkajících se například již zmíněného Barkhausenova šumu [4], [6], nebo kavitačního šumu [7], [8].

Uvádíme odvození výkonového spektra procesu, který je vytvořen jako součinnu periodické časové funkce a stacionárního Poissonova impulsového náhodného procesu. Takovýto proces může sloužit jako model kavitačního šumu, vznikajícího při hydrodynamické kavitaci na rotujících profilech. Hledané výkonové spektrum určíme metodou přímého výpočtu ze spekter jednotlivých realizací zkoumaného procesu. Autokorelační funkci by bylo možné určit z výkonového spektra pomocí Wienerovy-Chinčiny transformace.

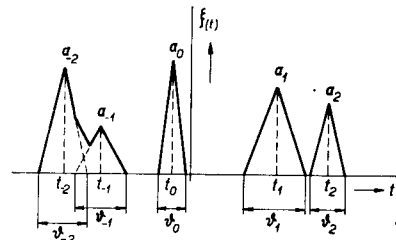
2. Poissonův impulsový náhodný proces

Uvažujme určitou realizaci impulsového náhodného procesu (obr. 1). Tuto realizaci můžeme zapsat ve tvaru

$$\xi(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(t - t_n, \mathbf{a}_n). \quad (1)$$

Zde $f(t)$ je nenáhodná časová funkce, popisující tvar jednotlivých impulsů, t_n je náhodný okamžik výskytu n -tého impulsu a \mathbf{a}_n je m -rozměrná náhodná veličina

$\mathbf{a}_n = (a_{n1}, \dots, a_{nm})$, která představuje m -tici náhodných parametrů n -tého impulsu. V příkladu na obr. 1 jsme se omezili pouze na dva náhodné parametry, a to na náhodnou amplitudu a a na náhodnou šířku impulsu ϑ . Význam obou parametrů je zřejmý z obrázku.



Obr. 1. Příklad realizace impulsového náhodného procesu.

Předpokládejme, že mezi jednotlivými impulsy neexistuje statistická závislost, že statistické charakteristiky parametrů jednotlivých impulsů nezávisí na pořadí impulsů a okamžik výskytu n -tého impulsu t_n nezávisí na ostatních náhodných parametrech n -tého impulsu \mathbf{a}_n . Dále předpokládejme, že apriorní pravděpodobnost výskytu impulsu v časovém intervalu $(t, t + dt)$ nezávisí na čase t a je rovna $\bar{\nu} dt$, kde $\bar{\nu} = \text{konst}$ je střední počet impulsů za jednotku času (hustota impulsů). Pak pravděpodobnost výskytu právě N impulsů během dostatečně dlouhého časového intervalu $(0, T)$ bude dána Poissonovým rozdělením [5]

$$P(N, T) = \frac{(\bar{\nu}T)^N}{N!} e^{-\bar{\nu}T} \quad (2)$$

a uvedený impulsový náhodný proces se nazývá Poissonův.

Je-li \bar{N} střední hodnota počtu impulsů v intervalu $(0, T)$ na množině všech realizací, pak hustota impulsů je rovna

$$\bar{\nu} = \frac{\bar{N}}{T}. \quad (3)$$

Zadáme-li tvar funkce $f(t)$, hustotu impulsů $\bar{\nu}$ a m -rozměrnou hustotu pravděpodobnosti náhodných parametrů $w_m(\mathbf{a})$, bude tím Poissonův impulsový náhodný proces úplně popsán. Tento popis, vzhledem k tomu, že se vztahuje k vnitřní struktuře procesu a ke způsobu, jak je proces vytvářen, budeme nazývat vnitřní. Náhodné procesy

se však obvykle popisují statistickými charakteristikami, které popisují daný proces jako celek, z vnějšku. Takovéto charakteristiky, které budeme nazývat vnější, jsou např. hustoty pravděpodobnosti různých řádů, případně jejich momenty. V případě impulsových náhodných procesů však takovéto charakteristiky neposkytují bezprostřední informaci o struktuře jednotlivých impulsů, případně o způsobu výstavby procesu. Proto pak obvykle hledáme souvislost mezi vnějšími a vnitřními charakteristikami. Určení vnitřních charakteristik z vnějších je možné pouze za určitých předpokladů. Příklad řešení takovéto úlohy je možné nalézt v práci Bellové [9]. Obvykle se proto postupuje obráceně a popis procesu jako celku se snažíme nalézt ze statistického popisu jednotlivých impulsů. Takto budeme postupovat i v tomto článku.

3. Výkonové spektrum součiny periodické funkce a Poissonova impulsového procesu

Všimněme si nyní blíže náhodného procesu $\xi_z(t)$, který vznikne vynásobením Poissonova impulsového procesu $\xi(t)$ periodickou časovou funkcí $z(t)$. Můžeme tedy psát

$$\xi_z(t) = z(t) \xi(t). \quad (4)$$

V tomto případě bude výsledné výkonové spektrum $G(\omega)$ rovno konvoluci výkonového spektra periodické funkce $G_z(\omega)$ a výkonového spektra Poissonova procesu $G_\xi(\omega)$. Periodickou funkci $z(t)$, která má základní periodu T_0 , můžeme rozvinout do Fourierovy řady

$$z(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k e^{jk\omega_0 t}, \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}, \\ k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (5)$$

Výkonové spektrum této funkce je rovno

$$G_z(\omega) = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 \delta(\omega - k\omega_0). \quad (6)$$

Vzhledem k přítomnosti funkcí delta ve výrazu (6) je výpočet konvolučního integrálu v tomto případě jednoduchý, takže výsledné výkonové spektrum $G(\omega)$ dostaneme ve tvaru

$$G(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 G_\xi(\omega - k\omega_0). \quad (7)$$

Výraz (7) platí zcela obecně. Vzhledem k tomu, že se v něm vyskytuje pouze vnější charakteristika $G_\xi(\omega)$, neposkytuje výraz (7) bezprostřední informaci o vnitřní struktuře impulsového procesu. Proto budeme postupovat jinak a výraz (7) použijeme ke kontrole výsledku.

Abychom zajistili existenci Fourierovy transformace, uvažujme zpočátku pouze výřez určité realizace Poissonova procesu o délce $(0, T)$. Tento výřez označme $\xi_N(t)$. Přitom bude platit, že $\xi_N(t)$ je totožný s procesem $\xi(t)$ uvnitř zmíněného intervalu $(0, T)$ a bude roven nule vně tohoto intervalu. Dále předpokládejme, že T je mnohonásobně větší než doba, po kterou lze jednotlivé impulsy považovat přibližně za nenulové, a že výřez obsahuje právě N impulsů. S výjimkou okrajů intervalu $(0, T)$, kde však vzhledem k uvedenému předpokladu o velikosti T vůči délce impulsů bude „okrajový efekt“ zanedbatelný, lze výřez zkoumaného náhodného procesu zapsat ve tvaru (1), pouze s tím rozdílem, že sčítání v sumě budeme provádět pro $n = 1, \dots, N$.

Všimněme si nyní součiny výřezu $\xi_N(t)$ a funkce $z(t)$. Označíme-li výsledný proces $\xi_{zN}(t)$, pak jej můžeme zapsat ve tvaru

$$\xi_{zN}(t) = z(t) \xi(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N c_k f(t - t_n, \mathbf{a}_n) e^{jk\omega_0 t}. \quad (8)$$

Vynásobením časové funkce $f(t, \mathbf{a}_n)$ výrazem $\exp(jk\omega_0 t)$ znamená posunutí jejího Fourierova obrazu $s(\omega, \mathbf{a}_n)$ podél kmitočtové osy o $k\omega_0$. Spektrum výrazu (8) bude mít proto tvar

$$S_{zN}(\omega) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{n=1}^N c_k s(\omega - k\omega_0, \mathbf{a}_n) e^{-j(\omega - k\omega_0)t_n}. \quad (9)$$

Výkonové spektrum budeme určovat ze vztahu

$$G(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \overline{|S(\omega)|^2}. \quad (10)$$

Postupem, obecně používaným při hledání výkonového spektra impulsových procesů a dostatečně popsáním v pracích [1] až [4] nejprve nalezneme hodnotu výrazu $\overline{|S(\omega)|^2}$. V našem případě získáme

$$\overline{|S(\omega)|^2} = \sum_{N=0}^{\infty} P(N) \overline{|S_{zN}(\omega)|^2} = \\ = \overline{N} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 \overline{|s(\omega - k\omega_0, \mathbf{a})|^2} + \\ + \overline{N^2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 \overline{|s(\omega - k\omega_0, \mathbf{a})|^2} \chi(\omega - k\omega_0)^2 + \\ + (\overline{N^2} + \overline{N}) \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{\substack{l=-\infty \\ k \neq l}}^{\infty} c_k c_l^* \overline{s(\omega - k\omega_0, \mathbf{a})} \cdot \\ \cdot \overline{s^*(\omega - l\omega_0, \mathbf{a})} \chi(\omega - k\omega_0) \chi^*(\omega - l\omega_0). \quad (11)$$

Zde jsme hvězdičkou označili komplexně sdružené veličiny a $\chi(\omega)$ je charakteristická funkce náhodných okamžiků výskytu impulsů t_n . Dosadíme-li (11) do (10) a provedeme-li limitní přechod pro $T \rightarrow \infty$, získáme výkonové spektrum ve tvaru

$$G(\omega) = \overline{N} \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 \overline{|s(\omega - k\omega_0, \mathbf{a})|^2} + \\ + \overline{N^2} \overline{|s(0, \mathbf{a})|^2} 2\pi \sum_{k=-\infty}^{\infty} |c_k|^2 \delta(\omega - k\omega_0). \quad (12)$$

Toto je hledaný výraz pro výkonové spektrum součiny periodické funkce a Poissonova impulsového náhodného procesu. Na rozdíl od výrazu (7) však obsahuje členy \overline{N} , $\overline{|s(\omega, \mathbf{a})|^2}$ a $\overline{|s(0, \mathbf{a})|^2}$ a tudíž umožňuje poznat vnitřní strukturu procesu.

Výraz (12) obsahuje jak spojité, tak diskrétní složky. Přítomnost diskrétních složek je podmíněna existencí stejnosměrné složky ve spektru Poissonova procesu. V případě, že střední hodnota Poissonova procesu bude rovna nule, bude výkonové spektrum (12) obsahovat pouze spojitou část.

Všimněme si nyní zvláštního případu, kdy funkce $z(t)$ bude konstantní, a to $z(t) = 1$. Pak koeficienty Fourierova rozvoje funkce $z(t)$ budou rovny

$$c_k = \begin{cases} 1 & k = 0 \\ 0 & k = \pm 1, \pm 2, \dots \end{cases}$$

a výraz (12) nabude tvar

$$G(\omega) = \bar{\nu} \overline{|s(\omega, \mathbf{a})|^2} + \bar{\nu}^2 \overline{|s(0, \mathbf{a})|^2} 2\pi\delta(\omega). \quad (13)$$

Toto je známý výraz pro výkonové spektrum stacionárního Poissonova impulsového náhodného procesu [2], [4], [5]. Dosadíme-li nyní (13) do (7), získáme po jednoduchých úpravách původní vztah (12), čímž máme zároveň provedenu kontrolu výsledku.

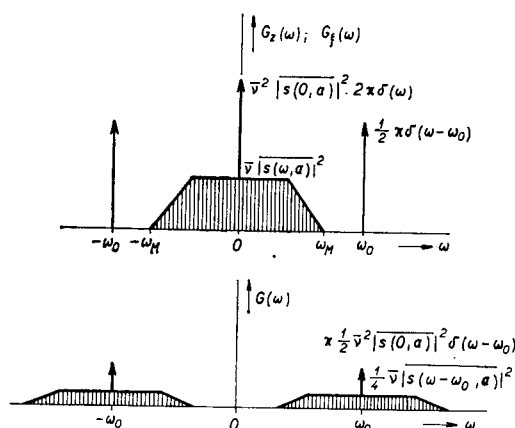
Ještě si všimněme zvláštního případu „amplitudové modulace“ harmonické funkce o úhlovém kmitočtu ω_0 Poissonovým procesem s omezeným spektrem. Pro výkonové spektrum Poissonova procesu tudíž platí, že $G_{\xi}(\omega) = 0$ pro $|\omega| > |\omega_M|$, přičemž $|\omega_M| < |\omega_0|$. Koeficienty Fourierova rozvoje funkce $z(t)$ jsou v tomto případě rovny

$$c_k = \begin{cases} \frac{1}{2} & k = \pm 1 \\ 0 & k \neq \pm 1 \end{cases}$$

a výraz (12) přejde ve tvar

$$G(\omega) = \frac{1}{4} \bar{\nu} \overline{|s(\omega - \omega_0, \mathbf{a})|^2} + \overline{|s(\omega + \omega_0, \mathbf{a})|^2} + \frac{1}{4} \bar{\nu}^2 \overline{|s(0, \mathbf{a})|^2} 2\pi [\delta(\omega - \omega_0) + \delta(\omega + \omega_0)]. \quad (14)$$

Výkonové spektrum (14) je schematicky zobrazeno na obr. 2.



Obr. 2. Výkonové spektrum při amplitudové modulaci harmonické funkce Poissonovým procesem.

Na konec se chceme zmínit o výstřelovém šumu. Měníme-li proud procházející elektronickou součástkou, dochází k „modulaci“ výstřelového šumu tímto proudem. Zde ovšem nejde o amplitudovou modulaci, neboť amplituda impulsů je v případě výstřelového šumu konstantní, a sice je určena nábojem elementárního nosiče. V tomto případě ale dochází ke změně hustoty impulsů $\bar{\nu}(t)$ a tudíž jde o náhodný impulsový proces zcela jiného druhu, než jaký byl studován v této práci.

4. Závěr

V článku jsme odvodili výraz pro výkonové spektrum součiny periodické funkce a stacionárního Poissonova impulsového procesu. Výsledný výraz (12) bylo možné

získat dosazením vztahu pro výkonové spektrum Poissonova stacionárního procesu (13) do výrazu (7), zde uvedený postup má však význam pro studium složitějších impulsového náhodných procesů, jako např. kvaziperiodického skupinového impulsového náhodného procesu s periodicky proměnnou amplitudou impulsů [10] apod.

Odvozené výrazy mají bezprostřední použití např. v teorii kavitacího šumu, kde v případě hydrodynamické kavitace na rotujících profilech dochází vlivem akustického útlumu v kapalině k „amplitudové modulaci“ generovaného kavitacího šumu.

Literatura

- [1] Levin, B. R.: Teorie náhodných procesů a její aplikace v radiotechnice. Praha, SNTL 1965, kap. 10.
- [2] Middleton, D.: An Introduction to Statistical Communication Theory. New York, McGraw Hill 1960, kap. 4.3—4.5.
- [3] Konovalov, G. V. — Tarasenko, E. M.: Impulsnýje slučajnyje procesy v elektrosvjazi. Moskva, Svjaz 1973.
- [4] Rytov, S. M.: Vvedeniye v statističeskiju radiofiziku. Moskva, Nauka 1966, kap. 2.
- [5] Rice, S. O.: Mathematical Analysis of Random Noise. Bell Syst. Techn. J., 23, 1944, č. 3, s. 282—332.
- [6] Bittel, H. — Storm, L.: Rauschen. Berlin, Springer 1971, kap. 3.6.
- [7] Vokurka, K.: Příspěvek k teorii kavitacího šumu. V. konf. čs. fyziků, Košice 1977.
- [8] Taraba, O. — Vokurka, K.: Autokorelační funkce kavitacího šumu. Seminář: Výzkum kavitace II, Praha, ČVTS 1979.
- [9] Bell, T. H.: Representation of Random Noise by Random Pulses. J. of Applied Physics, 45, 1974, č. 4, s. 1902—1903.
- [10] Vokurka, K.: Impulsní náhodné procesy ve fyzice. VI. konference čs. fyziků, Ostrava 1979.

Спектр мощности произведения периодических функций и импульсного процесса Пуассона. В статье выводится уравнение для определения спектра мощности случайного процесса, которое образуется как произведение периодической функции времени и стационарного импульсного случайного процесса Пуассона. При этом применяется метод непосредственного вычисления спектра мощности из спектров отдельных реализаций исследуемого процесса. Для контроля уравнение для определения спектра мощности выводится также из внешних характеристик отдельных сомножителей. В заключение рассматриваются некоторые особые случаи.

Leistungsspektrum des Produkts einer periodischen Funktion und eines Poissonschen Impulsprozesses. Im Artikel wird der Ausdruck für das Leistungsspektrum eines als Produkt einer periodischen Zeitfunktion und eines stationären Poissonschen Impuls-Zufallsprozesses abgeleitet. Dabei wird das Verfahren der direkten Berechnung des Leistungsspektrums aus den Spektren der einzelnen Realisierungen des untersuchten Prozesses angewandt. Zur Kontrolle wird der Ausdruck für das Leistungsspektrum auch von den äusseren Charakteristiken der einzelnen Faktoren abgeleitet. Zum Schluss werden manche Sonderfälle diskutiert.

The power spectrum of a product of a periodic function and a Poisson pulse process. In the article an expression is derived for the power spectrum of a random process made up as product of a periodic time function and a stationary Poisson random pulse process. In this a method of direct computation of the power spectrum from the spectra of the respective realizations of the process being investi-

gated is used. For corroboration the expression for the power spectrum is also derived from the outside characteristics of the respective coefficients. Some special cases are discussed in the conclusion.

Spectre d'efficacité du produit de la fonction périodique et du processus d'impulsions de Poisson. On déduit l'expression pour le spectre d'efficacité du processus aléatoire qui

est constitué comme le produit d'une fonction périodique de temps et du processus stationnaire aléatoire d'impulsion de Poisson. A cet effet, on utilise la méthode du calcul direct du spectre d'efficacité en partant des spectres des réalisations différentes du processus examiné. Pour contrôler le résultat, on déduit également l'expression pour le spectre d'efficacité en partant des caractéristiques externes des facteurs particuliers. Pour terminer, on discute quelques cas spéciaux.

Analogové integrované obvody

Herpy, M.: Analoge integrierte Schaltungen. Ein Lehrbuch, Schaltungen mit Operationsverstärkern und analogen Multiplizierern zu entwerfen. (Analogové integrované obvody. Učebnice návrhu elektronických obvodů s operačními zesilovači a analogovými násobičkami.) Budapest, Akadémiai Kiadó, 1979, v koedici s nakladatelstvími Franzis-Verlag, München, (NSR). 524 s., 373 obr., cena vázaného svazku není uvedena.

Podle autorových úvodních slov je tato publikace koncipována nejenom jako odborná monografie, ale charakterem některých svých kapitol odpovídá technické příručce a celkovým pojetím splňuje požadavky kladené na učebnici, která má čtenáře vést k novému způsobu myšlení, jež je nezbytnou podmínkou samostatného návrhu pokrokových elektronických obvodů. Podněty a důvody vedoucí ke vzniku recenzovaného díla shrnuje autor do konstatování, že tvorba a vydávání odborné vědecké literatury nemohly udržet krok s bouřlivým rozvojem polovodičových analogových integrovaných obvodů na celém světě. A to v takové míře, že převážná většina výzkumných a vývojových pracovníků byla odkázána pouze na informace publikované v katalogích výrobců a v jejich technické i aplikační dokumentaci.

Taková situace má mnoho negativních důsledků, protože hlavním posláním firemní dokumentace téměř vždy bývá snaha vyvolat poptávku po novém výrobku a zajistit mu co největší odbyť. Aplikační dokumentace a doporučená zapojení jsou obvykle zaměřeny tak, aby charakterizovaly základní vlastnosti daného integrovaného obvodu a naznačily hlavní oblasti jeho praktického využití. Doporučená zapojení lze sice zpravidla spolehlivě a bez vážnějších problémů reprodukovat a přímo v praxi využívat, jejich nevýhodou však je, že nemohou poskytnout ani vyčerpávající přehled často velmi širokého spektra praktických aplikací určitého analogového integrovaného obvodu, ani zprostředkovat dostatek poznatků nezbytných k návrhu speciálních obvodů a zapojení.

Bohaté zkušenosti, které autor recenzovaného díla získal během pedagogického působení na technické univerzitě v Budapešti i při práci v laboratořích maďarského výzkumného ústavu pro sdělovací techniku, přesvědčivě ukazují, že návrháři elektronických obvodů a systémů, kteří chtějí naprosto samostatně pracovat a využívat přitom všechny přednosti integrovaných analogových obvodů, potřebují praktickou pomůcku, která jim pomůže porozumět všem vlastnostem a charakteristikám moderních analogových obvodů a výhodně je pak využít v co nejširší oblasti praktických aplikací. Touto pomůckou je recenzované dílo; je-

hož obsah je zaměřen na obvodovou techniku monolitických analogových obvodů, na vnitřní strukturu operačních zesilovačů a analogových násobiček a vedle toho i na problematiku analýzy a syntézy hlavních obvodových aplikací. Další obsahovou složkou tohoto díla jsou partie, které čtenáře učí navrhovat nové elektronické obvody novými, pokrokovými metodami, a to tak, že učí vývojové i konstrukční pracovníky uvažovat v obvodových a funkčních jednotkách. Předpokladem jsou ovšem určité matematické znalosti a sběhlost jejich praktickém používání.

Rozsáhlá látka v recenzované knize soustředěná je rozdělena do devíti obsáhlých kapitol. Po stručném úvodu v první kapitole vysvětluje autor v následující druhé kapitole hlavní způsoby výroby monolitických integrovaných obvodů a jejich součástek (tranzistory NPN, odpory, kondenzátory, tranzistory PNP, diody, tranzistory řízené elektrickým polem) a některé důležitější technologické postupy. Třetí kapitola (rozsah asi 30 s.) je věnována základním zapojením tranzistoru, jejich čtyřpólovým parametrům, provozním vlastnostem, teplotní závislosti parametrů, šumu tranzistoru a tranzistorům řízeným elektrickým polem.

Čtvrtá kapitola s rozsahem asi 80 stránek je zaměřena na některé vlastnosti a způsoby zapojení integrovaných obvodů (např. Darlingtonův zesilovač, diferenční zesilovač, přenosové charakteristiky, provoz při malých signálech, statické vlastnosti, teplotní závislost driftu a offsetu, šumové vlastnosti diferenčních zesilovačů, aktivní odpory, zdroje konstantního proudu, koncové stupně).

Rozsáhlá pátá kapitola má přes sto stránek a zpracovává širokou problematiku integrovaných operačních zesilovačů, jejich strukturu, charakteristické vlastnosti, pracovní podmínky, šum aj. Většinu obsahu této kapitoly vyplňují podrobné technické popisy známých typů operačních zesilovačů čelných světových výrobců (např. Fairchild, RCA, Intersil, National Semiconductor, Analog Devices). Praktické využití těchto operačních zesilovačů je podrobně vysvětleno v obsažné kapitole 6, která má zhruba 150 stránek. V sedmé kapitole (asi 50 s.) jsou probrány aktivní filtry RC a jejich vlastnosti, následující osmá kapitola je věnována výkladu činnosti a aplikacím integrovaných analogových násobiček některých výrobců (např. Motorola, Analog Devices). Poslední devátou kapitolu věnoval autor praktickým aplikacím integrovaných analogových násobiček. Knihu uzavírá bohatý soupis literatury vesměs z posledního desetiletí (6 s.) a podrobný abecedně řazený věcný rejstřík (5 s.).

Kk