

Vladimír Cviklovič

Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy

Nitra 2021

Názov: Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy

Autor: doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Technická fakulta
Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky

Recenzenti: prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD.
Ing. Tomáš Géci, PhD.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 19. 2. 2021
ako vysokoškolskú učebnicu pre študentov SPU v Nitre.

© doc. Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.

ISBN 978-80-552-2309-4

OBSAH

POJMY, SKRATKY A OZNAČENIA	5
ÚVOD	9
1 NAPÁJACIE ZDROJE V ELEKTRONIKE.....	11
1.1 CHEMICKÉ ZDROJE ELEKTRICKEJ ENERGIE	11
1.1.1 Primárne galvanické články.....	12
1.1.2 Sekundárne galvanické články	14
1.2 SPÍNANÉ ZDROJE	17
1.3 AKTÍVNE HARMONICKÉ FILTRE	22
2 RIADENIE ELEKTRICKÉHO VÝKONU SILOVÝCH OBVODOV	24
2.1 RIADENIE VÝKONU JEDNOSMERNÉHO PRÚDU	24
2.2 ZAPOJENIA NA RIADENIE VÝKONU V OBVODOCH STRIEDAVÉHO PRÚDU	25
2.2.1 Fázové riadenie.....	27
2.2.2 Spínanie v nule	28
2.3 NASTAVENIE PRACOVNÉHO BODU TYRISTORA A TRIAKA	31
3 OPERAČNÉ ZOSILŇOVAČE.....	32
3.1 PARAMETRE A ARCHITEKTÚRA OPERAČNÉHO ZOSILŇOVAČA	32
3.2 ZAPOJENIA S OPERAČNÝMI ZOSILŇOVAČMI.....	36
4 AKTÍVNE FREKVENČNÉ ANALÓGOVÉ FILTRE	43
4.1 RADENIE FILTROV	43
4.2 POUŽÍVANÉ APROXIMÁCIE	45
4.3 AKTÍVNE FILTRE PRVÉHO RÁDU	48
4.3.1 Dolnopriepustný filter prvého rádu.....	48
4.3.2 Hornopriepustný filter prvého rádu	49
4.3.3 Prikklady návrhu aktívnych filtrov 1. rádu.....	50
4.4 AKTÍVNE FILTRE DRUHÉHO RÁDU	51
4.4.1 Dolnopriepustný filter 2. rádu.....	51
4.4.2 Hornopriepustný filter 2. rádu	53
4.4.3 Prikklady návrhu aktívnych filtrov vyšších rádov	54
5 ANALÓGOVO-ČÍSLICOVÉ A ČÍSLICOVO-ANALÓGOVÉ PREVODNÍKY	57
5.1 AD PREVODNÍKY	57
5.1.1 Parametre prevodníkov.....	58
5.1.2 Architektúry AD prevodníkov.....	60
5.2 DA PREVODNÍKY	64
6 UNIFIKOVANÉ SIGNÁLY	67
6.1 ROZDELENIE UNIFIKOVANÝCH SIGNÁLOV	67
6.2 SNÍMAČE S UNIFIKOVANÝM VÝSTUPOM	69
7 GALVANICKÉ ODDELENIE SIGNÁLOV	73
7.1 GALVANICKÉ ODDELENIE	73
7.2 OPTICKÁ VÄZBA	74
7.3 MAGNETICKÁ VÄZBA.....	79
7.4 KAPACITNÁ VÄZBA.....	81
7.5 ZHRNUTIE PARAMETROV GALVANICKÉHO ODDELENIA.....	82
8 ELEKTRONICKÁ KOMUNIKÁCIA	84
8.1 REFERENČNÝ MODEL KOMUNIKÁCIE ISO / OSI.....	84
8.2 HART, WIRELESS HART	86
8.3 1-WIRE.....	89
8.4 UART	92
8.5 IRDA	94
8.6 RS232	95
8.7 RS422	98

8.8 RS485	99
8.9 I ² C, SMBUS.....	102
8.10 I ² S	108
8.11 SPI.....	111
8.12 PROFIBUS.....	112
8.13 CAN	115
8.14 USB.....	117
9 RÁDIOFREKVENČNÁ IDENTIFIKÁCIA.....	125
10 ZÁVER.....	130
11 POUŽITÁ LITERATÚRA.....	131

POJMY, SKRATKY A OZNAČENIA

AC	striedavý prúd (<i>Alternate Current</i>)
ACK	potvrdzovací bit správneho prijatia údajov (<i>Acknowledge</i>)
AD	analógovo-digitálny (<i>Analog to Digital</i>)
ADC	analógovo-digitálny prevodník (<i>Analog to Digital Converter</i>)
ADCCP	bitovo orientovaná údajová vrstva protokolu používaného na zaistenie prenosu údajových rámcov medzi PTP a PTM, ktoré obsahujú chybovú kontrolnú informáciu (<i>Advanced Data Communication Control Procedure</i>)
ADP	USB OTG protokol (<i>Attach Detection Protocol</i>)
AES	rozšírený kódovací štandard (<i>Advanced Encryption Standard</i>)
AGC	obvod automatického riadenia zosilnenia (<i>Automatic Gain Control</i>)
ARM	architektúra 32-bitových jednočipových mikroprocesorov
ASN.1	štandard v telekomunikačnej technike (<i>Abstract Syntax Notation</i>)
ASCII	americký štandardný kód na výmenu informácií (<i>American Standard Code for Information Interchange</i>)
CMOS	komplementárna logika s unipolárnymi tranzistormi (<i>Complementary Metal Oxid Semiconductor</i>)
CRC	kontrolný súčet (<i>Cyclic Redundancy Check</i>)
DA	digitálno-analógový (<i>Digital to Analog</i>)
DAC	digitálno-analógový prevodník (<i>Digital to Analog Converter</i>)
DC	jednosmerný prúd (<i>Direct Current</i>)
DCE	zariadenie vysielajúce údaje – modem (<i>Data Circuit Terminating Equipment</i>)
DLL	knihnica s meniteľným jazykom pre HART protokol (<i>Dynamic Language Library</i>)
DMA	priamy prístup do pamäte (<i>Direct Memory Access</i>)
DPF	dolnopriepustný filter
DQ	vývod zariadenia pre 1-wire komunikáciu
DTE	zariadenie prijímajúce údaje – počítač (<i>Data Terminal Equipment</i>)
EBCDIC	8-bitové kódovanie používané hlavne v IBM (<i>Extended Binary Coded Decimal Interchange Code</i>)
EDD	súbory opisujúce zariadenie v komunikácii (<i>Electronic Device Description</i>)
EP	koncový bod, miesto v pamäti pri komunikácii USB (<i>EndPoint</i>)
EPC	elektronický kód produktu v RFID (<i>Electronic Product Code</i>)
ESD	elektrostatický výboj (<i>ElectroStatic Discharge</i>)
FDT	štandard pre rýchly prenos údajov (<i>Fast Data Transfer</i>)
FET	tranzistor riadený elektrickým poľom (<i>Field Effect Transistor</i>)
FSK	modulácia frekvenčným kľúčovaním (<i>Frequency Shift Keying</i>)
GND	nulový potenciál, zemný potenciál (<i>GrouND</i>)
GO	galvanické oddelenie
FIFO	zásobník, z ktorého údaje odchádzajú v rovnakom poradí ako prichádzajú
FPGA	poľom programovateľné pole hradíel (<i>Field-Programmable Gate Array</i>)
HDLC	nadstavba protokolu SDLC (<i>High-Level Data Link Control</i>)
HF	vysokofrekvenčný (<i>High Frequency</i>)
HHT	ručný terminál „master“ pre HART protokol (<i>Hand Held Terminal</i>)
HPF	hornopriepustný filter
ID	identifikátor
IRQ	prerušenie procesora (<i>Interrupt ReQuest</i>)
ISA	starý priemyselný zbernicový štandard (<i>Industry Standard Architecture</i>)
ISDN	digitálna sieť integrovaných služieb (<i>Integrated Services Digital Network</i>)

ISO	medzinárodná organizácia pre štandardizáciu (<i>International Organization for Standardization</i>)
KERMIT	protokol pre prenos a správu počítačových súborov
LAN	lokálna sieť (<i>Local Area Network</i>)
LCD	displej z tekutých kryštálov (<i>Liquid-Crystal Display</i>)
LED	elektroluminiscenčná dióda (<i>Light-Emitting Diode</i>)
LF	nízkočfrekvenčný (<i>Low Frequency</i>)
LSB	najnižší príznakový bit (<i>Least Significant Bit</i>)
LSTTL	nízkočpríkonová tranzistorová logika so Schottkyho tranzistormi (<i>Low-power Schottky Transistor-Transistor Logic</i>)
Master	zariadenie, ktoré riadi komunikáciu, z angl. pán, šéf, veliteľ
MBP	kódovanie kódom Manchester a napájanie zariadení zo zbernice (<i>Manchester Coded, Bus Powered</i>)
MESH	neobmedzená topológia počítačovej siete so samoopravou
MIDI	digitálna komunikácia pre hudobné nástroje (<i>Musical Instrument Digital Interface</i>)
MISO	vstup „master“ zariadenia v komunikácii SPI (<i>Master Input Slave Output</i>)
MIT	Massachusettská technická univerzita (<i>Massachusetts Institute of Technology</i>)
MFB	viacnásobná spätná väzba (<i>Multiple FeedBack</i>)
MOS	unipolárny tranzistor kov-oxid-polovodič (<i>Metal Oxid Semiconductor</i>)
MOSI	výstup „master“ zariadenia v komunikácii SPI (<i>Master Output Slave Input</i>)
MPEG	pracovná skupina vyvíjajúca štandardy pre kódovanie audiovizuálnych údajov
MSB	najvyšší príznakový bit (<i>Most Significant Bit</i>)
NACK	potvrdzovací bit komunikácie vysielaný „master“ zariadením
NRZ	kódovanie bez návratu do logickej nuly (<i>Non-Return to Zero</i>)
NRZI	negované kódovanie bez návratu do logickej nuly (<i>Non-Return to Zero Inverted</i>)
OS	operačný systém
OSC	oscilátor
OTG	pridaná špecifikácia do štandardu USB, ktorá umožňuje komunikáciu medzi dvomi „slave“ zariadeniami (<i>On-The-Go</i>)
OZ	operačný zosilňovač
PC	osobný počítač (<i>Personal Computer</i>)
PCI	počítačová zbernica na pripojenie periférií (<i>Peripheral Component Interconnect</i>)
PE	nulovací (ochranný) vodič nízkonapäťovej rozvodnej sústavy
PID	identifikátor paketu (<i>Packet IDentificator</i>)
PLC	programovateľný logický automat (<i>Programmable Logic Controller</i>)
PLL	slučka fázového závesu (<i>Phase Locked Loop</i>)
POR	obvod zabezpečujúci nulovanie pri pripojení napájacieho napätia (<i>Power On Reset</i>)
PWM	impulzná šírková modulácia (<i>Pulse Width Modulation</i>)
RAM	pamäť na zápis a čítanie (<i>Random Acces Memory</i>)
RTC	obvody reálneho času (<i>Real Time Circuits</i>)
ROM	pamäť na jeden zápis (<i>Read Only Memory</i>)
Rx	príjem údajov
RZI	kódovanie s návratom do nuly (<i>Return to Zero Inverted</i>)
SCK	hodinový signál v komunikácii I ² S (<i>Serial ClocK</i>)
SCL	hodinový signál v komunikácii I ² C (<i>Serial CLock</i>)
SCLK	hodinový signál v komunikácii SPI (<i>Serial CLock</i>)
SD	údajový signál v komunikácii I ² S (<i>Serial Data</i>)
SDA	údajový signál v komunikácii I ² C (<i>Serial Data</i>)

SDLC	prvý formalizovaný metodický framework pre vývoj informačných systémov (<i>Software Development Life Cycle</i>)
Slave	zariadenie, ktoré má zakázané riadiť komunikáciu, z ang. otrok, nevoľník
SS	vývod pre hardvérový výber zariadenia v komunikácii SPI (<i>Slave Select</i>)
STTL	TTL so Schottkyho tranzistormi (<i>Schottky TTL</i>)
TTL	tranzistorovo viazaná logika (<i>Transistor Transistor Logic</i>)
TCP	protokol riadenia prenosu (<i>Transmission Control Protocol</i>)
TP	krútená dvojlinka (<i>Twisted Pair</i>)
Tx	vysielač údajov
UHF	frekvenčné pásmo ultra vysokých frekvencií (<i>Ultra High Frequency</i>)
USB	univerzálna sériová linka (<i>Universal Serial Bus</i>)
VCO	napätím riadený oscilátor (<i>Voltage Controlled Oscillator</i>)
VHF	frekvenčné pásmo veľmi vysokých frekvencií (<i>Very High Frequency</i>)
WORM	jednorazovo zapisovateľná pamäť (<i>Write Once Read Many</i>)
WS	vývod pre výber slova v komunikácii I2S (<i>Word Select</i>)
XON	znak oznamujúci začiatok prenosu po sériovej linke
XOFF	znak oznamujúci koniec prenosu po sériovej linke
XTAL	kryštál
ZMODEM	protokol na prenos súborov

a_i	prvý aproximačný koeficient filtra i-tého rádu	-
b_i	druhý aproximačný koeficient filtra i-tého rádu	-
f	frekvencia	Hz
f_A	aliasová frekvencia	Hz
f_c	medzná frekvencia	Hz
f_s	vzorkovacia frekvencia	Hz
i	okamžitá hodnota prúdu	A
i_L	okamžitá hodnota prúdu tečúceho cievkou	A
s	komplexná premenná funkcie pre rôznu časovú hodnotu signálu	-
t	čas	s
u_+	okamžitá hodnota napätia na neinvertujúcom vstupe	V
u_-	okamžitá hodnota napätia na invertujúcom vstupe	V
u_o	okamžitá hodnota napätia na výstupe	V
u_{vst}	okamžitá hodnota vstupného napätia	V
$u_{výst}$	okamžitá hodnota výstupného napätia	V
A_{dB}	zosilnenie v decibeloch	dB
A_{odB}	zosilnenie jednosmerného signálu v decibeloch	dB
A_o	zosilnenie jednosmerného signálu	-
A	zosilnenie ako pomerné číslo	-
$A(s)$	prenosová funkcia	-
C	kapacita	F
C_z	zemná väzbová kapacita	F
E	energia	J
H	intenzita magnetického poľa	A.m ⁻¹
I	elektrický prúd	A
I_C	kolektorový prúd tranzistora	A
I_F	prúd tečúci LED diódou v priepustnom smere	A
I_{P1}	prúd získaný z fotodiódy 1	A
I_{P2}	prúd získaný z fotodiódy 2	A
K_1	pomer priepustného prúdu LED k získanému prúdu z fotodiódy 1	-

K_2	pomer priepustného prúdu LED k získanému prúdu z fotodiódy 2	-
K_3	pomer ziskov	-
L	indukčnosť	H
Q	činiteľ akosti filtra	-
P	elektrický výkon	W
R	elektrický odpor	Ω
R_G	odpor nastavenia zisku prístrojového zosilňovača	Ω
R_{LIN}	odpor linearizačného rezistora	Ω
R_L	odpor zaťažovacieho rezistora	Ω
T	perióda	s
U_i	indukované napätie	V
U_{CC}	kladné napájacie napätie	V
U_{CE}	napätie medzi kolektorom a emitorom	V
U_{IN}^+	vstupné napätie neinvertujúceho vstupu zosilňovača	V
U_{IN}^-	vstupné napätie invertujúceho vstupu zosilňovača	V
U_L	napätie logickej nuly	V
U_H	napätie logickej jednotky	V
U_r	rozdielové napätie	V
U_R	riadiace napätie	V
U_{REG}	vstupné napätie regulátora napätia	V
U^+	výstupné napätie regulátora napätia	V
U_z	rušivé napätie zdroja	V
U_{vst}	vstupné napätie	V
$U_{výst}$	výstupné napätie	V
X_C	kapacitná reaktancia	Ω
Z	impedancia	Ω
Z_{vst}	vstupná impedancia	Ω
$Z_{výst}$	výstupná impedancia	Ω
α	fázový uhol	rad
Ω	normalizovaná frekvencia	-
ω	uhlová frekvencia	$rad.s^{-1}$
ω_c	medzná uhlová frekvencia	$rad.s^{-1}$

ÚVOD

Vysokoškolská učebnica je zameraná na elektronické obvody používané v elektronickej komunikácii. Súčasťou publikácie je tiež priblížiť fyzickú vrstvu komunikačných štandardov. Kapitola „Napájacie zdroje v elektronike“ hovorí o galvanických článkoch, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou každého prenosného elektronického zariadenia. Sú vysvetlené základné parametre galvanických článkov, ktoré sú dôležité pre inžiniersku činnosť. Druhá časť kapitoly je venovaná spínaným zdrojom, ktoré sú v súčasnosti prítomné skoro vo všetkých odboroch elektroniky. Sú opísané základné princípy spínaných zdrojov s indukčnosťou a princípy spínaných zdrojov používajúcich transformátor kvôli galvanickému oddeleniu spotrebiča od elektrickej siete.

Cieľom kapitoly „Riadenie elektrického výkonu silových obvodov“ je priblížiť problematiku spôsobov riadenia výkonu a ich vplyv na účinnosť a rušenie v elektrickej sieti. V kapitole je dostatočne opísaný aj spôsob návrhu obvodov s triakom a tyristorom.

Operačné zosilňovače, ich parametre a základné zapojenia sú opísané v rovnomennom kapitole. Na túto problematiku tesne nadväzuje kapitola „Aktívne frekvenčné analógové filtre“, ktorá je zameraná na návrh aktívnych filtrov vyšších rádov podľa najpoužívanejších aproximácií v elektronike pre automatizáciu. Ide predovšetkým o filtre používané v komunikáciách, na výstupe snímačov, antialiasové filtre radené pred AD prevodníky a podobne. Pre lepšie pochopenie problematiky sú opísané aj spôsoby návrhu a výsledné chovanie filtrov. Spolu s kapitolami „AD prevodníky, DA prevodníky“, „Unifikované signály“ a „Galvanické oddelenie signálov“ tvoria podklad pre návrhy analógových elektronických obvodov používaných nielen vo výrobnej technike.

Kapitoly „Elektronická komunikácia“ a „Rádiofrekvenčná identifikácia“ komplexne opisujú hardvérové riešenia komunikačných štandardov masívne používaných vo všetkých odvetviach priemyslu a v spotrebnej elektronike v súčasnosti. Cieľom je poukázať študentovi na problémy a ich riešenia pre rôzne aplikácie, či už ide o komunikáciu v rámci jedného zariadenia, alebo o komunikáciu na stovky až tisícky metrov.

Verím, že táto vysokoškolská učebnica bude dobrým pomocníkom pri práci s komunikačnými štandardmi, pri návrhoch jednoduchých elektronických obvodov alebo správnej voľbe formy galvanického oddelenia s následným spracovaním signálu.

Vladimír Cviklovič
Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy

Vydala: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Vydanie: druhé nezmenené

Náklad: 50 ks

Jazyková korektúra: Ing. Katarína Drábiková

Tlač: Vydavateľstvo SPU v Nitre

AH-VH: 10,17-10,38

ISBN 978-80-552-2309-4