

Vladimír Cviklovič

**Aplikovaná elektronika
a komunikačné štandardy**

Nitra 2017

Názov: Aplikovaná elektronika a komunikačné štandardy

Autor: 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.

Schválil rektor Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 9. 3. 2017
ako vysokoškolskú učebnicu pre študentov SPU v Nitre.

© Ing. Vladimír Cviklovič, PhD.

ISBN 978-80-552-1647-8

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 Príklady 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 Príklady 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 I-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 | potvrzovací 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 | nízkočfrekvencný (<i>Low Frequency</i>) |
| LSB | najnižší príznakový bit (<i>Least Significant Bit</i>) |
| LSTTL | nízkoprikonová tranzistorová logika so Schottkyho tranzistorami (<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 | potvrzovací 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 | vysielanie 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 emitorm | 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: prvé

Náklad: 150 ks

Jazyková korektúra: Ing. Katarína Kováčová

Tlač: Vydavateľstvo SPU v Nitre

AH-VH: 10,17-10,38

ISBN 978-80-552-1647-8