

# OBSAH

|   |     |
|---|-----|
| 1 Úvod: základní poznatky – rekapitulace  | 13  |
| Literatura ke kapitole 1  | 21  |
| 2 Diskrétní polovodičové součástky  | 23  |
| 2.1 Součástky z monokrystalických polovodičů  | 23  |
| 2.1.1 Přejchod MS a PN  | 23  |
| 2.1.2 Součástky s přechodem - diody   | 27  |
| 2.1.3 Bipolární tranzistory   | 39  |
| 2.1.4 Základní zapojení bipolárních tranzistorů                                       | 43  |
| 2.1.5 Mezní kmitočty bipolárních tranzistorů  | 50  |
| 2.1.6 Vícevrstvé spínací součástky  | 52  |
| 2.1.7 Součástky s objemovými jevy – VKV diody a JFET                                  | 60  |
| 2.1.8 Součástky s povrchovými jevy – MISFET   | 69  |
| 2.1.9 Submikronové a heterogenní struktury  | 75  |
| 2.2 Součástky z polykrystalických polovodičů  | 81  |
| 2.2.1 Varistor  | 81  |
| 2.2.2 Termistor a posistor  | 83  |
| 2.3 Optické součástky   | 90  |
| 2.3.1 Monokrystalické součástky pro generaci a detekci optického záření s přechody PN | 92  |
| 2.3.2 Polykrystalické detektory optického záření                                      | 101 |
| 2.3.3 Optické součástky heterogenní   | 104 |
| 2.4 Součástky řízené neelektrickými veličinami  | 106 |
| 2.4.1 Speciální detektory záření  | 106 |
| 2.4.2 Součástky řízené magnetickým polem  | 107 |
| 2.4.3 Součástky řízené mechanickými veličinami  | 111 |
| 2.4.4 Termočlánky a chladicí články   | 112 |
| 2.4.5 Monokrystalické snímače teploty   | 114 |
| 3 Vakuové elektronky a výbojky  | 117 |
| 3.1 Elektronky s hustotní modulací elektronového svazku                               | 118 |
| 3.1.1 Dioda a trioda  | 119 |
| 3.1.2 Vysílací elektronky   | 123 |
| 3.2 Elektronky s rychlostní modulací elektronového svazku                             | 125 |
| 3.2.1 Využití nenulové průletové doby   | 125 |
| 3.2.2 Zvětšení doby vzájemného působení   | 127 |
| 3.2.3 Magnetrony  | 130 |

|  |     |
|--|-----|
| 3.3 Optické elektronky   | 132 |
| 3.3.1 Obrazovky  | 133 |
| 3.3.2 Optoelektronické měniče                                    | 144 |
| 3.3.3 Převáděče a zesilovače obrazu                              | 149 |
| 3.3.4 Paměťové elektronky  | 151 |
| 3.4 Výbojky  | 152 |
| 3.4.1 Součástky založené na výboji v plynu – výbojky             | 155 |
| 3.4.2 Doutnavky a zářivky  | 157 |
| Literatura ke kapitolám 2 a 3                                    | 160 |
| <br>   |     |
| 4 Základní poznatky o obvodech s diskrétními součástkami         | 163 |
| 4.1 Základní konvence užívané v elektronických obvodech          | 163 |
| 4.2 Chování součástek při změnách signálu                        | 170 |
| 4.2.1 Linearizace empirických charakteristik                     | 171 |
| 4.2.2 Lineární náhradní obvod součástky                          | 176 |
| 4.2.2.1 Lineární náhradní obvod diody                            | 177 |
| 4.2.2.2 Lineární náhradní obvody<br>bipolárního tranzistoru      | 177 |
| 4.2.2.3 Giacolettův LNO bipolárního tranzistoru                  | 180 |
| 4.2.2.4 LNO unipolárních tranzistorů                             | 182 |
| 4.2.3 Lineární náhrady reaktancí pro malý signál                 | 183 |
| 4.2.4 Náhrady reaktancí pro velký signál                         | 184 |
| 4.2.5 Náhradní obvod bipolárního tranzistoru<br>pro velký signál | 185 |
| Literatura ke kapitole 4   | 187 |
| <br>   |     |
| 5 Základní aplikace diskrétních součástek                        | 189 |
| 5.1 Obvody s bipolárními tranzistory                             | 190 |
| 5.1.1 Zapojení se společným emitorem                             | 190 |
| 5.1.2 Zesilovač SE se stabilizací $P_o$                          | 192 |
| 5.1.3 Nepřemostěný odpor v emitoru                               | 193 |
| 5.1.4 Zesilovač se společným kolektorem                          | 194 |
| 5.1.5 Zesilovač se společnou bází                                | 196 |
| 5.1.6 Zesilovač SE s laděnými obvody                             | 199 |
| 5.1.7 Darlingtonův zesilovač                                     | 200 |
| 5.1.8 Fázový invertor nesouměrný                                 | 204 |
| 5.1.9 Fázový invertor souměrný                                   | 204 |
| 5.2 Obvody s unipolárními tranzistory                            | 205 |
| 5.2.1 Zesilovače SS a SD   | 206 |
| 5.2.2 Zesilovač s tranzistorem s obohaceným kanálem              | 208 |
| 5.3 Výkonové obvody s diskrétními součástkami                    | 209 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 5.3.1   | Třídy zesilovačů                           | 210 |
| 5.3.1.1 | Třída A                                    | 211 |
| 5.3.1.2 | Třída B                                    | 212 |
| 5.3.1.3 | Třída C                                    | 216 |
| 5.3.1.4 | Vyšší třídy                                | 217 |
| 5.4     | Spínací součástky                          | 217 |
| 5.4.1   | Aplikace diod                              | 217 |
| 5.4.1.1 | Jednopulsní (jednocestný) usměrňovač       | 218 |
| 5.4.1.2 | Dvoupulsní (dvoucestný) usměrňovač         | 219 |
| 5.4.1.3 | Výpočet zvlnění                            | 220 |
| 5.4.2   | Jiné aplikace diod                         | 221 |
| 5.4.2.1 | Užití varikapů                             | 221 |
| 5.4.2.2 | Užití fotodiody                            | 222 |
| 5.4.3   | Vícevrstvé spínací součástky               | 223 |
| 5.4.3.1 | Základní aplikace tyristorů                | 223 |
| 5.4.3.2 | Aplikace triaku                            | 228 |
| 5.4.3.3 | Spínání stejnosměrné zátěže                | 228 |
| 5.4     | Tranzistory jako výkonové spínače          | 230 |
| 5.5.1   | Bipolární spínač                           | 231 |
| 5.5.2   | Unipolární spínač                          | 236 |
| 5.5.3   | Kombinované struktury                      | 238 |
|         | Literatura ke kapitole 5                   | 240 |
| 6.      | Integrované součástky                      | 241 |
| 6.1     | Klasifikace                                | 242 |
| 6.1.1   | Odlišnosti od diskretních součástek        | 245 |
| 6.1.2   | Základní struktury                         | 246 |
| 6.1.2.1 | Bipolární struktury                        | 246 |
| 6.1.2.2 | Unipolární struktury                       | 253 |
| 6.1.2.3 | Smíšené struktury                          | 255 |
| 6.2     | Analogové integrované součástky            | 256 |
| 6.2.1   | Operační zesilovače                        | 257 |
| 6.2.2   | Základní invertující zesilovač             | 261 |
| 6.2.3   | Neinvertující zesilovač                    | 264 |
| 6.2.4   | Napětový sledovač                          | 265 |
| 6.2.5   | Superpozice (sčítání) napětí               | 265 |
| 6.2.6   | Časově závislé operace                     | 266 |
| 6.2.7   | Nelineární operace                         | 268 |
| 6.2.8   | Kladná zpětná vazba                        | 271 |
| 6.3     | Vnitřní bloky monolitických analogových IO | 273 |

|   |            |
|---|------------|
| 6.3.1 Klidový pracovní bod integrovaného zesilovače | 273        |
| 6.3.2 Integrovaný rozdílový zesilovač               | 277        |
| 6.3.3 Kompenzovaný proudový zdroj                   | 282        |
| 6.3.4 Řízený rozdílový zesilovač                    | 284        |
| 6.3.5 Integrované výkonové zesilovače               | 292        |
| 6.3.5.1 Koncové stupně                              | 294        |
| 6.3.5.2 Vstupní zesilovače                          | 294        |
| 6.3.5.3 Zemnicí spoje                               | 297        |
| 6.4 Číslicové součástky                             | 297        |
| 6.4.1 Signálové úrovně TTL                          | 299        |
| 6.4.1.1 Další bipolární součástky                   | 302        |
| 6.4.1.2 Typová řada ECL                             | 303        |
| 6.4.2 Slučitelnost typových řad                     | 304        |
| 6.4.3 Unipolární součástky                          | 306        |
| 6.4.4 Sekvenční součástky                           | 307        |
| 6.4.5 Klopné obvody                                 | 308        |
| 6.4.5.1 Klopný obvod R-S                            | 309        |
| 6.4.5.2 Klopný obvod R-S-T                          | 310        |
| 6.4.5.3 Klopný obvod D-T                            | 310        |
| 6.4.6 Posuvné registry                              | 311        |
| 6.4.6.1 Dynamický dvoufázový posuvný registr        | 312        |
| 6.4.6.2 Statický posuvný registr                    | 313        |
| 6.4.7 Struktura s nábojovou vazbou                  | 315        |
| 6.4.8 Adresovatelné paměti                          | 318        |
| 6.4.8.1 Statická bipolární buňka                    | 321        |
| 6.4.8.2 Statická unipolární buňka                   | 323        |
| 6.4.8.3 Dynamická unipolární buňka                  | 323        |
| 6.5 Smíšené součástky                               | 324        |
| 6.6 Hybridní integrované obvody                     | 328        |
| Literatura ke kapitole 6                            | 329        |
| <b>Dodatek A: Pasivní součástky (přehled)</b>       | <b>331</b> |
| A.1 Funkční typy                                    | 331        |
| A.2 Normalizované řady hodnot                       | 332        |
| A.3 Rezistory                                       | 334        |
| A.3.1 Náhradní obvod                                | 334        |
| A.3.2 Technologické typy rezistorů                  | 335        |
| A.3.3 Proměnné rezistory                            | 337        |
| A.3.4 Zatížitelnost rezistorů                       | 338        |
| A.4 Kapacitory                                      | 339        |
| A.1.4.1 Proměnné kapacitory                         | 341        |

|  |     |
|--|-----|
| A.5 Induktory                                  | 342 |
| A.6 Barevné značení hodnot součástek           | 345 |
| A.7 Součástky pro povrchovou montáž            | 349 |
| Literatura k Dodatku A                         | 350 |
| <b>Dodatek B: Oscilátory</b>                   | 351 |
| B.1 Zpětná vazba – oscilační podmínky          | 351 |
| B.2 Oscilátory                                 | 353 |
| B.2.1 Oscilátory RC                            | 354 |
| B.2.1.1 Astabilní multivibrator                | 354 |
| B.2.1.2 Laditelný harmonický RC oscilátor      | 356 |
| B.2.2 Oscilátory s laděnými obvody LC          | 358 |
| B.2.2.1 Pierceův oscilátor                     | 358 |
| B.2.2.2 Dvoustupňový LC oscilátor              | 359 |
| B.2.3 Krystalové oscilátory                    | 364 |
| B.2.4 Závěrečné poznámky                       | 366 |
| Literatura k Dodatku B                         | 366 |
| <b>Dodatek C - Spínané výkonové zesilovače</b> | 367 |
| C.1 Zesilovač ve třídě D                       | 367 |

## Poznámky:

Pro označení teploty se používá v ČSN 0113015 v obecných svazcích a rovněž při použití symbolů  $T(T) = K$ , pro hodnoty měření v oběhových žlávkách (ve stupních Celsia) pak symbolů  $\theta(\theta) = ^\circ C$ .

Zopakujeme, že klasická fyzika považovala za elektron jako za hmotnou částici, jejíž nepravidlálný pohyb je kulový. Klasická teorie elektrony je pak jen jiným výrazem pro energii jeho elektroradiativního pole a odtud byl odvozen i záporný poloměr elektrony  $r = 1,6 \cdot 10^{-14} m$ . Speciální náboj elektrony  $q$ , byl zjištěn a později korigován hibern. fyziků na základě působení elektrického a magnetického pole. Protože elementární náboj elektrony  $q$  lze určit různými způsoby (např. pomocí Faradayova zákona o elektrolýze) a má vždy uvedenou hodnotu, lze vypočítat i klasickou hmotnost  $m_e$ . Hodnota speciálního náboje elektrony je ze všech elementárních částic největší.