

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH</b>  | <b>3</b>  |
| <b>1. Úvod</b>  | <b>8</b>  |
| <b>2. Základní vztahy</b>   | <b>10</b> |
| 2.1. Maticový popis dvojbranů                                     | 10        |
| 2.1.1. Vstupní a výstupní impedance dvojbranu                     | 12        |
| 2.2. Elementární dvojbrany  | 12        |
| 2.2.1. Nulor  | 12        |
| 2.2.2. Ideální řízené zdroje napětí a proudu                      | 13        |
| 2.2.3. Imitanční konvertory                                       | 15        |
| 2.2.4. Imitanční invertory  | 16        |
| 2.3. Zpětná vazba   | 17        |
| 2.3.1. Klasifikace elektronických zpětných vazeb                  | 17        |
| 2.3.2. Vliv zpětné vazby na vstupní a výstupní impedanci          | 18        |
| 2.3.3. Vliv zpětné vazby na kmitočtovou závislost přenosu         | 19        |
| 2.3.4. Vliv zpětné vazby na kolísání zesílení soustavy            | 20        |
| 2.3.5. Vliv zpětné vazby na rušivé jevy ve zpětnovazební soustavě | 21        |
| 2.3.6. Vliv zpětné vazby na stabilitu zpětnovazební soustavy      | 21        |
| 2.3.6.1. Nyquistovo a Bodeho kritérium stability                  | 21        |
| 2.3.6.2. Imitanční kritérium stability                            | 23        |
| 2.4. Korekce zesilovačů   | 25        |
| 2.4.1. Integrační korekce   | 26        |
| 2.4.2. Derivační korekce  | 26        |
| 2.4.3. Integračně-derivační korekce                               | 27        |
| <b>3. Tranzistorové zesilovače</b>                                | <b>29</b> |
| 3.1. Nastavení a stabilizace pracovního bodu                      | 29        |
| 3.1.1. Pracovní bod bipolárního tranzistoru                       | 29        |
| 3.1.2. Pracovní bod unipolárního tranzistoru                      | 33        |
| 3.1.3. Stabilizace polohy pracovního bodu                         | 34        |
| 3.2. Jednostupňové tranzistorové zesilovače                       | 35        |
| 3.2.1. Zesilovače s bipolárním tranzistorem                       | 36        |
| 3.2.2. Zesilovač s unipolárním tranzistorem                       | 39        |
| 3.3. Vazby zesilovacích stupňů                                    | 40        |
| 3.3.1. Stejnoseměrné vazby  | 41        |
| 3.3.2. Střídavé vazby   | 43        |
| 3.4. Rozdílový zesilovač  | 45        |
| 3.5. Kmitočtové charakteristiky zesilovačů                        | 46        |
| 3.5.1. Kmitočtové charakteristiky tranzistorů                     | 46        |
| 3.5.2. Millerův jev   | 47        |
| 3.5.3. Kmitočtové charakteristiky zesilovačů                      | 49        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>4. Operační zesilovače</b>                                      | <b>52</b>  |
| 4.1. Ideální operační zesilovač                                    | 52         |
| 4.2. Rozdělení a parametry reálných oper. zesilovačů               | 53         |
| 4.2.1. Druhy operačních zesilovačů                                 | 53         |
| 4.2.2. Základní parametry reálného OZ                              | 54         |
| 4.3. Vnitřní struktura, stabilita a korekce OZ                     | 56         |
| 4.3.1. Vnitřní struktura OZ  | 56         |
| 4.3.2. Kmitočtová korekce OZ                                       | 57         |
| 4.4. Použití OZ  | 59         |
| 4.4.1. Základní zapojení s OZ                                      | 59         |
| 4.5. Chyby reálných operačních sítí                                | 65         |
| 4.5.1. Vliv vstupního odporu $R_I$ a konečného zesílení $A_{OL}$ . | 65         |
| 4.5.2. Vliv nedostatečného potlačení souhlasného signálu CMR       | 66         |
| 4.5.3. Vliv vstupních ofsetů                                       | 67         |
| 4.5. Měření na operačních zesilovačích                             | 68         |
| 4.6. Speciální operační zesilovače                                 | 71         |
| 4.6.1. Výkonové zesilovače   | 71         |
| 4.6.2. Izolační zesilovače   | 73         |
| 4.7. Komparátory   | 75         |
| 4.7.1. Ideální komparátor  | 76         |
| 4.7.2. Reálný komparátor   | 76         |
| 4.7.3. Komparátory s hysterezí                                     | 76         |
| 4.7.4. Speciální komparátory                                       | 78         |
| <br>   |            |
| <b>5. Relaxační generátory, převodníky U/f, f/U</b>                | <b>80</b>  |
| 5.1. Jednoduché relaxační generátory                               | 80         |
| 5.2. Převodníky napětí / kmitočet                                  | 83         |
| 5.3. Monostabilní klopné obvody                                    | 85         |
| 5.4. Obvod NE555   | 86         |
| 5.5. Převodníky kmitočet napětí                                    | 89         |
| <br>   |            |
| <b>6. Harmonické oscilátory</b>                                    | <b>92</b>  |
| 6.1. Oscilátory se záporným odporem                                | 92         |
| 6.2. Zpětnovazební oscilátory                                      | 96         |
| 6.2.1. Zpětnovazební oscilátory RC                                 | 96         |
| 6.2.2. Stabilizace amplitudy kmitů RC oscilátorů                   | 98         |
| 6.2.3. Zpětnovazební oscilátory LC                                 | 99         |
| 6.3. Krystalové oscilátory   | 101        |
| <br>   |            |
| <b>7. Počítačová simulace analogových obvodů</b>                   | <b>103</b> |
| 7.1. Program Pspice  | 104        |
| 7.1.1. Vstupní soubor *.cir  | 104        |

|  |            |
|--|------------|
| 7.1.2. Součástky v PSpice                                      | 110        |
| 7.1.3. Příkazy PSpice  | 118        |
| 7.1.4. Standardní modely součástek v PSpice                    | 129        |
| 7.2. Program Probe   | 132        |
| 7.3. Program Schematics  | 135        |
| 7.3.1. Základní operace se Schematics                          | 135        |
| 7.3.2. Tvorba schémat pomocí Schematics                        | 139        |
| <b>8. Aktivní filtry</b>                                       | <b>143</b> |
| 8.1. Přehled vlastností filtrů                                 | 143        |
| 8.1.1. Přenos filtru   | 143        |
| 8.1.2. Typy filtrů   | 145        |
| 8.1.2.1. Normalizované přenosy filtrů 1. a 2. řádu             | 147        |
| 8.1.2.2. Transformace filtrů                                   | 148        |
| 8.1.3. Aproximace filtrů                                       | 150        |
| 8.1.3.1. Výpočty přenosů filtrů                                | 155        |
| 8.1.4. Filtry pro nízké kmitočty                               | 158        |
| 8.2. Aktivní filtry s jedním operačním zesilovačem             | 160        |
| 8.2.1. Aktivní filtry 1. řádu                                  | 160        |
| 8.2.2. Aktivní filtry 2. řádu                                  | 164        |
| 8.2.2.1. Aktivní filtry s vícenásobnou ZV                      | 165        |
| 8.2.2.2. Aktivní Filtry Sallen-Key                             | 167        |
| 8.3. Aktivní filtry s větším počtem OZ                         | 171        |
| 8.3.1. Filtry vyšších řádů                                     | 175        |
| 8.4. Aktivní filtry se syntetickými součástkami                | 176        |
| 8.5. Aktivní filtry s přepínanými kondenzátory                 | 179        |
| 8.6. Počítačové modelování filtrů                              | 182        |
| 8.6.1. Vliv vlastností součástek na parametry aktivních filtrů | 182        |
| 8.6.2. Modelování aktivních filtrů v PSpice                    | 183        |
| <b>9. Fázový závěs</b>   | <b>184</b> |
| 9.1. Princip fázového závěsu                                   | 184        |
| 9.2. Funkční bloky fázového závěsu                             | 187        |
| 9.2.1. Fázové detektory  | 187        |
| 9.2.2. Filtry  | 194        |
| 9.2.3. Napěťově řízené oscilátory                              | 195        |
| 9.3. Přenos fázového závěsu                                    | 197        |
| 9.3.1. Přenos na výstup kmitočtu                               | 197        |
| 9.3.2. Přenos na výstup napětí                                 | 198        |
| 9.3.3. Fázová chyba  | 198        |
| 9.3.4. Vliv filtru na chování fázového závěsu                  | 200        |
| 9.4. Dynamické vlastnosti fázového závěsu                      | 202        |
| 9.4.1. Pásmo udržení   | 203        |

|  |     |
|--|-----|
| 9.4.2. Pásmo zachycení                       | 204 |
| 9.4.3. Pásmo vtažení                         | 205 |
| 9.4.4. Spektrální čistota výstupního signálu | 208 |
| 9.5. Aplikace fázového závěsu                | 209 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>10. Výkonové zesilovače</b>                        | <b>211</b> |
| 10.1. Vlastnosti výkonových tranzistorů               | 211        |
| 10.1.1. Vlastnosti bipolárního výkonového tranzistoru | 211        |
| 10.1.2. Vlastnosti výkonového tranzistoru MOS FET     | 214        |
| 10.2. Nelineární zkreslení v zapojení SE a SK         | 215        |
| 10.3. Třídy výkonových zesilovačů                     | 218        |
| 10.3.1. Třída A                                       | 218        |
| 10.3.2. Třída B                                       | 220        |
| 10.3.3. Třída AB                                      | 223        |
| 10.3.4. Třída C                                       | 224        |
| 10.3.5. Třída D                                       | 225        |
| 10.4. Chlazení výkonových polovodičových součástek    | 229        |
| 10.5. Výkonové zesilovače třídy AB                    | 233        |
| 10.5.1. Koncové stupně                                | 234        |
| 10.5.2. Ochranné obvody koncových stupňů              | 239        |
| 10.5.3. Budící stupně                                 | 241        |
| 10.5.4. Zapojení výkonových zesilovačů                | 243        |
| 10.6. Počítačové modelování výkonových zesilovačů     | 245        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>11. Nelineární obvody</b>           | <b>249</b> |
| 11.1. Spínače                          | 249        |
| 11.2. Vzorkovací obvody                | 255        |
| 11.3. Paměť maxima                     | 259        |
| 11.4. Násobičky                        | 259        |
| 11.4.1. Násobička s proměnnou strmostí | 261        |
| 11.4.2. Logaritmická násobička         | 266        |
| 11.4.3. Násobička s řízenými odpory    | 269        |
| 11.4.4. Kvadratická násobička          | 270        |
| 11.4.5. Impulsní násobička             | 270        |
| 11.4.6. Použití násobiček              | 271        |
| 11.5. Přesné usměrňovače               | 274        |
| 11.5.1. Půlvlnný přesný usměrňovač     | 274        |
| 11.5.2. Celovlnný přesný usměrňovač    | 276        |
| 11.5.3. Výběr maximální hodnoty        | 277        |
| 11.6. Omezovače                        | 278        |
| 11.7. Generátory funkcí                | 279        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>12. Převodníky A/D, D/A</b>                              | <b>282</b> |
| 12.1. Kódování  | 282        |
| 12.2. A/D převodníky  | 283        |
| 12.2.1. Vzorkování analogového signálu                      | 285        |
| 12.2.2. Kvantovací šum, efektivní počet bitů A/D převodníku | 286        |
| 12.3. D/A převodníky  | 287        |
| 12.4. Principy převodu A/D                                  | 290        |
| 12.4.1. Paralelní A/D převodník                             | 290        |
| 12.4.2. A/D převodník s postupnou aproximací                | 292        |
| 12.4.3. Sledovací A/D převodník                             | 293        |
| 12.4.4. Integrační A/D převodník                            | 294        |
| 12.4.5. $\Sigma$ - $\Delta$ A/D převodník                   | 295        |
| 12.5. Principy převodu D/A                                  | 297        |
| 12.5.1. D/A převodník s váhovými odpory                     | 297        |
| 12.5.2. D/A převodník s rezistorovou sítí R/2R              | 298        |
| 12.5.3. D/A převodník s kapacitorovou sítí                  | 300        |
| 12.6. Analogový podsystém mikropočítače                     | 301        |
| 12.6.1. Galvanické oddělení analogových vstupů / výstupů    | 301        |
| <b>Literatura</b>   | <b>304</b> |