

# Obsah

|         |                                                                                          |    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.      | Operační zesilovače-základní vlastnosti                                                  | 2  |
| 1.1     | Integrované operační zesilovače                                                          | 2  |
| 1.2     | Určení parametrů operačního zesilovače                                                   | 5  |
| 1.3     | Provozní parametry operačních zesilovačů                                                 | 6  |
| 1.3.1   | Měření napěťového zesílení s otevřenou zpětnovazební smyčkou                             | 6  |
| 1.3.2   | Měření vstupního odporu rozdílového vstupu                                               | 11 |
| 1.3.3   | Měření výstupního odporu operačních zesilovačů                                           | 12 |
| 1.4     | Vstupní chybové signály                                                                  | 13 |
| 1.4.1   | Měření vstupní napěťové a proudové nesymetrie-offsetové napětí a offsetový proud         | 13 |
| 1.4.2   | Měření činitele potlačení součtové soufázové složky signálu                              | 15 |
| E 1.1   | Provozní parametry operačních zesilovačů                                                 | 18 |
| E 1.2   | Chybové signály                                                                          | 19 |
| 2.      | Invertující a neinvertující zesilovač                                                    | 20 |
| 2.1     | Invertující zesilovač                                                                    | 20 |
| 2.1.1   | Invertující zesilovač s ideálním operačním zesilovačem                                   | 21 |
| 2.2     | Neinvertující zesilovač                                                                  | 24 |
| 2.2.1   | Neinvertující zesilovač s ideálním operačním zesilovačem                                 | 25 |
| 2.2.2   | Napěťový sledovač                                                                        | 28 |
| 2.3     | Optimalizace základních zapojení                                                         | 28 |
| 2.3.1   | Volba nejvhodnějších velikostí odporů operační sítě                                      | 28 |
| 2.3.2   | Zvýšení vstupního odporu                                                                 | 30 |
| 2.3.3   | Ochrana proti přetížení                                                                  | 32 |
| 2.3.3.1 | Ochrana proti přepólování napájecího napětí                                              | 32 |
| 2.3.3.2 | Ochrana proti vstupnímu přetížení                                                        | 32 |
| 2.3.3.3 | Omezení výstupního proudu                                                                | 34 |
| 2.4     | Reálný operační zesilovač v invertujícím a neinvertujícím zapojení                       | 34 |
| 2.4.1   | Chyba způsobená konečnou velikostí napěťového zesílení s otevřenou zpětnovazební smyčkou | 34 |
| 2.4.2   | Chyba způsobená konečnou hodnotou vstupní impedance odporu                               | 36 |
| 2.4.3   | Chyba způsobená nenulovou výstupní impedancí                                             | 39 |
| E 2.1   | Invertující zesilovač                                                                    | 42 |
| E 2.2   | Neinvertující zesilovač                                                                  | 44 |
| E 2.3   | Invertující a neinvertující zesilovač s reálným operačním zesilovačem                    | 45 |
| 3.      | Rozdílové, přístrojové a můstkové zesilovače                                             | 46 |
| 3.1     | Rozdílové diferenční zesilovače                                                          | 46 |
| 3.1.1   | Princip činnosti rozdílového zesilovače                                                  | 46 |
| 3.1.2   | Základní rozdílový zesilovač napětí                                                      | 47 |
| 3.1.3   | Zdokonalený rozdílový zesilovač                                                          | 52 |
| 3.2     | Přístrojové zesilovače                                                                   | 54 |
| 3.3     | Můstkové zesilovače                                                                      | 55 |
| 3.3.1   | Základní můstkový zesilovač                                                              | 56 |
| 3.3.1.1 | Základní můstkový zesilovač jako teploměr                                                | 57 |
| 3.3.1.2 | Základní můstkový zesilovač s uzemněným měničem                                          | 58 |
| 3.3.1.3 | Měnič pro velké proudy                                                                   | 58 |
| 3.3.2   | Odporový můstek s přístrojovým zesilovačem                                               | 59 |



|        |                                                                             |     |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3  | Odporový můstek ve zpětnovazební větvi OZ .....                             | 61  |
| 3.3.4  | Příklad na použití můstkového zesilovače .....                              | 62  |
| E 3.1  | Rozdílový zesilovač s potlačenou součtovou složkou..                        | 63  |
| E 3.2  | Přístrojový zesilovač .....                                                 | 64  |
| E 3.3  | Některé aplikace můstkového zesilovače .....                                | 65  |
| 4.     | Komparátor .....                                                            | 66  |
| 4.1    | Princip činnosti úrovnňového komparátoru napětí .....                       | 66  |
| 4.1.1  | Příklady užití komparátoru v základním zapojení .....                       | 68  |
| 4.2    | Komparátory bez saturace .....                                              | 69  |
| 4.3    | Proudový komparátor .....                                                   | 72  |
| 4.4    | Komparátor s hysteresí .....                                                | 73  |
| 4.5    | Okénkový komparátor .....                                                   | 78  |
| E 4.1  | Napěťový a proudový komparátor .....                                        | 80  |
| E 4.2  | Komparátor s napěťovým omezovačem a s hysteresí .....                       | 81  |
| E 4.3  | Okénkový komparátor .....                                                   | 82  |
| 5.     | Integrátor .....                                                            | 83  |
| 5.1    | Základní zapojení integrátoru .....                                         | 83  |
| 5.1.1  | Princip činnosti integrátoru .....                                          | 84  |
| 5.1.2  | Příklad na použití integrátoru .....                                        | 86  |
| 5.2    | Integrující zesilovač bootstrap .....                                       | 88  |
| 5.3    | Třístavový integrátor .....                                                 | 89  |
| 5.4    | Integrátor z hlediska střídavého napětí .....                               | 93  |
| E 5.1  | Integrátor jako časovač .....                                               | 94  |
| E 5.2  | Časovač pro dlouhé časy .....                                               | 95  |
| E 5.3  | Třístavový integrátor .....                                                 | 96  |
| 6.     | Signální generátory .....                                                   | 97  |
| 6.1    | Generátory napětí sinusového průběhu .....                                  | 97  |
| 6.1.1  | Princip činnosti oscilátoru s operačním zesilovačem.                        | 97  |
| 6.1.2  | Nastavení oscilátoru .....                                                  | 97  |
| 6.1.3  | Oscilátor s Wienovým můstkem .....                                          | 100 |
| 6.1.4  | RC oscilátor .....                                                          | 103 |
| E 6.1A | Oscilátor s Wienovým můstkem .....                                          | 108 |
| E 6.1B | RC oscilátor .....                                                          | 109 |
| 6.2    | Generátory napětí obdélníkového průběhu .....                               | 110 |
| 6.2.1  | Princip činnosti generátoru obdélníkového napětí ...                        | 110 |
| 6.3    | Generátory napětí obdélníkového a trojúhel. průběhu.                        | 114 |
| 6.3.1  | Princip generování trojúhelníkového napětí .....                            | 114 |
| 6.3.2  | Činnost komparátoru se zavedenou kladnou<br>zpětnou vazbou .....            | 116 |
| 6.3.3  | Výklad činnosti generátoru trojúhelníkového<br>a obdélníkového napětí ..... | 118 |
| 6.4    | Generátor funkcí .....                                                      | 121 |
| 6.4.1  | Generátor obdélníkového a trojúhelníkového napětí ..                        | 124 |
| 6.4.2  | Generátor pilového a obdélníkového napětí .....                             | 125 |
| E 6.2  | Generátor trojúhelníkového a obdélníkového napětí ..                        | 128 |
| E 6.3  | Generátor pilového a obdélníkového napětí .....                             | 129 |
| 7.     | Pasivní a aktivní filtry .....                                              | 130 |
| 7.1    | Pasivní filtry .....                                                        | 130 |
| 7.1.1  | Dolnofrekvenční propust .....                                               | 132 |
| 7.1.2  | Hornofrekvenční propust .....                                               | 133 |
| 7.1.3  | Pásmová propust .....                                                       | 134 |
| 7.2    | Aktivní filtry .....                                                        | 135 |
| 7.2.1  | Filtr s dolní propustí .....                                                | 135 |
| 7.2.2  | Filtr s horní propustí .....                                                | 138 |
| 7.2.3  | Pásmová propust .....                                                       | 140 |



|                   |                                          |       |           |
|-------------------|------------------------------------------|-------|-----------|
| 7.2.4             | Zhodnocení použitých zapojení            | ..... | 141       |
| E 7.1             | Pasivní filtry                           | ..... | 142       |
| E 7.2             | Aktivní filtr s dolnofrekvenční propustí | ..... | 143       |
| E 7.3             | Aktivní filtr s hornofrekvenční propustí | ..... | 144       |
| E 7.4             | Aktivní filtr s pásmovou propustí        | ..... | 145       |
| Seznam literatury |                                          |       | ..... 146 |