

# Obsah

1	Úvod	1
2	Trojfázové obvody	3
2.1	Mnohofázové soustavy - základní pojmy a vztahy	3
2.1.1	Trojfázová soustava	3
2.1.1.1	Matematické vyjádření veličin souměrné trojfázové soustavy	4
2.1.1.2	Spojování trojfázových zdrojů	5
2.1.2	Šestifázová soustava	8
2.1.3	Dvojfázové soustavy	9
2.2	Výkon trojfázové soustavy v harmonickém ustáleném stavu	9
2.2.1	Spojení spotřebiče do hvězdy (obr.2.2-1)	9
2.2.2	Spojení spotřebiče do trojúhelníka (obr.2.2-3)	10
2.2.3	Okamžitý výkon trojfázového spotřebiče	10
2.3	Analýza jednodušších trojfázových obvodů v harmonickém ustáleném stavu	14
2.4	Metoda souměrných složek	21
2.4.1	Nesouměrná trojfázová soustava a její souměrné složky	21
2.4.2	Výkon nesouměrné trojfázové soustavy vyjádřený souměrnými složkami	24
2.4.3	Analýza trojfázových obvodů metodou souměrných složek	24
3	Periodické a modulované signály	26
3.1	Úvod	26
3.2	Periodické a jednorázové signály	28
3.2.1	Fourierův rozvoj periodických signálů	28
3.2.2	Amplitudové a fázové spektrum	29
3.2.3	Vliv symetrie signálu na spektrum	30
3.2.4	Efektivní hodnota a výkon periodického signálu	32
3.2.5	Neharmonické zkreslení	33
3.2.6	Exponenciální tvar Fourierovy řady	36
3.2.7	Fourierovy integrály a Fourierova transformace	39
3.2.8	Využití principu superpozice při analýze periodického ustáleného stavu v lineárních obvodech	41
3.2.9	Přibližná Fourierova analýza	44
3.3	Modulované signály	45
3.3.1	Modulace harmonické nosné	45
3.3.1.1	Amplitudová modulace harmonické nosné	46
3.3.1.2	Speciální druhy amplitudové modulace	49
3.3.1.3	Fázová modulace	49
3.3.1.4	Kmitočtová modulace	51
3.3.2	Modulace pulsní řady	53
4	Lineární dvojbrany	56
4.1	Klasifikace dvojbranů	56
4.2	Rovnice dvojbranů	58
4.2.1	Admitanční rovnice dvojbranu	58
4.2.2	Impedanční rovnice dvojbranu	60
4.2.3	Hybridní (sériově paralelní) rovnice dvojbranu	63
4.2.4	Hybridní paralelně sériově rovnice dvojbranu	64
4.2.5	Postupné kaskádní rovnice dvojbranu	64
4.2.6	Zpětné kaskádní rovnice	67
4.2.7	Vzájemné vztahy mezi maticemi dvojbranu	67
4.3	Náhradní schémata dvojbranů	68
4.4	Spojování dvojbranů	70

4.4.1	Paralelní spojení . . . . .	70
4.4.2	Sériové spojení . . . . .	71
4.4.3	Sériově paralelní a paralelně sériové spojení . . . . .	72
4.4.4	Kaskádní spojení . . . . .	73
4.5	Některé speciální dvojbrany . . . . .	75
4.5.1	Řízené zdroje . . . . .	75
4.5.2	Ideální operační zesilovač . . . . .	77
4.5.3	Ideální transformátor . . . . .	78
4.5.4	Gyrátor . . . . .	81
4.5.5	Negativní impedanční konvertor . . . . .	82
4.6	Imitanci funkce dvojbranu . . . . .	83
4.6.1	Vstupní impedance . . . . .	83
4.6.2	Výstupní impedance . . . . .	84
4.6.3	Význam obrazových impedancí a charakteristické impedance . . . . .	85
4.7	Přenosové funkce dvojbranu . . . . .	87
4.8	Kmitočtové charakteristiky dvojbranu . . . . .	88
4.8.1	Modulová charakteristika . . . . .	88
4.8.2	Fázová (argumentová) charakteristika . . . . .	89
4.8.3	Hodograf . . . . .	89
4.8.4	Nulové body a póly obvodových funkcí . . . . .	92
4.8.5	Výpočet modulu a argumentu obvodové funkce na základě rozložení nulových bodů a pólů . . . . .	94
4.8.6	Výpočet skupinového zpoždění . . . . .	95
4.9	Zpětná vazba . . . . .	96
4.10	Vlnový tvar kaskádních rovnic podélně symetrického recipročního dvojbranu . . . . .	97
<b>5</b>	<b>Přechodné děje v lineárních obvodech</b> . . . . .	<b>100</b>
5.1	Úvod . . . . .	100
5.2	Formulace diferenciálních rovnic obvodu . . . . .	100
5.3	Řešení diferenciální rovnice obvodu v časové oblasti . . . . .	103
5.3.1	Základní úvahy . . . . .	103
5.3.2	Obvody 1. řádu . . . . .	104
5.3.2.1	Vybíjení kondenzátoru . . . . .	105
5.3.2.2	Přechodný děj v $RL$ obvodu . . . . .	106
5.3.2.3	Nabíjení kondenzátoru přes rezistor . . . . .	107
5.3.2.4	Přechodný děj v obvodu $RL$ napájeném harmonickým napětím . . . . .	109
5.3.2.5	Napájení obvodu $RC$ periodickým obdélníkovým napětím . . . . .	110
5.3.3	Obvody 2. řádu . . . . .	112
5.3.3.1	Přechodný děj v odporově kapacitním děliči . . . . .	112
5.3.3.2	Přechodný děj v sériovém obvodu $RLC$ . . . . .	115
5.4	Stavový popis obvodu . . . . .	120
5.5	Řešení přechodných dějů pomocí Laplaceovy transformace . . . . .	121
5.5.1	Základní vztahy Laplaceovy transformace . . . . .	122
5.5.2	Příklady přímé transformace . . . . .	125
5.5.3	Příklady zpětné transformace . . . . .	128
5.5.3.1	Inverze pomocí slovníku . . . . .	128
5.5.3.2	Heavisideovy vzorce . . . . .	129
5.5.3.3	Numerická inverze Laplaceových obrazů . . . . .	130
5.5.4	Operátorové charakteristiky obvodových prvků . . . . .	131
5.5.5	Řešení periodického ustáleného stavu operátorovou metodou . . . . .	136
5.6	Odezva obvodu na standardní vstupní signály . . . . .	138
5.6.1	Přechodná a impulsová charakteristika . . . . .	138
5.6.2	Stabilita lineárního obvodu . . . . .	141
5.7	Výpočet odezvy obvodu na vstupní signál obecného tvaru . . . . .	142



5.7.1	Duhamelův (konvoluční) integrál . . . . .	142
5.7.2	Odezva obvodu na velmi krátký impuls libovolného tvaru . . . . .	144
<b>6</b>	<b>Ustálené a přechodné děje v nelineárních setrvačných obvodech</b>	<b>146</b>
6.1	Úvod . . . . .	146
6.1.1	Charakteristiky nelineárních pasivních nesetrvačných prvků . . . . .	146
6.1.2	Charakteristiky nelineárních řízených zdrojů . . . . .	150
6.1.3	Charakteristiky nelineárních reaktivních (setrvačných) prvků. . . . .	152
6.2	Nelineární obvody 1. řádu . . . . .	154
6.2.1	Nabíjení kondenzátoru přes nelineární rezistor . . . . .	156
6.2.2	Jednocestný usměrňovač . . . . .	160
6.2.3	Obvod se záporným dynamickým odporem . . . . .	162
6.3	Obvody 2. řádu s nelineárním rezistorem . . . . .	165
6.3.1	Násobič kmitočtu . . . . .	165
6.3.2	Generátor harmonických kmitů v ustáleném stavu . . . . .	166
6.3.3	Nelineární diferenciální rovnice oscilátoru . . . . .	169
6.3.4	Přibližné grafické řešení nelineární diferenciální rovnice oscilátoru . . . . .	170
<b>7</b>	<b>Homogenní vedení</b>	<b>171</b>
7.1	Základní pojmy a rovnice . . . . .	171
7.1.1	Úvodní poznámky . . . . .	171
7.1.2	Primární parametry vedení . . . . .	171
7.2	Rovnice homogenního vedení . . . . .	172
7.2	Homogenní vedení s ustálenými harmonickými proudy . . . . .	174
7.2.1	Rovnice pro harmonická napětí a proudy a jejich řešení . . . . .	174
7.2.2	Vlny napětí a proudu . . . . .	177
7.2.3	Impedance vedení . . . . .	181
7.2.4	Bezztrátové vedení . . . . .	185
7.2.5	Smithův diagram . . . . .	190
7.2.6	Zvláštní případy vedení . . . . .	192
7.3	Přechodné děje na vedení . . . . .	195
7.3.1	Operátorové řešení pro nulové počáteční podmínky . . . . .	195
7.3.2	Bezztrátové vedení zakončené vlnovým odporem . . . . .	197
7.3.3	Bezztrátové vedení zakončené rezistory . . . . .	198
7.3.4	Bezztrátové vedení zakončené reaktancí . . . . .	203
7.3.5	Odrazy na nehomogenitách vedení . . . . .	205
7.3.6	Nenulové počáteční podmínky . . . . .	207
7.3.7	Reálná vedení . . . . .	211
7.4	Příloha: Smithův diagram . . . . .	217
	<b>DODATEK 1</b>	<b>218</b>
	<b>DODATEK 2</b>	<b>219</b>
D.2.1	Řešení soustavy lineárních rovnic s reálnými koeficienty metodou Gaussovy eliminace . . . . .	219
D.2.2	Řešení soustavy lineárních rovnic s komplexními koeficienty metodou Gaussovy eliminace . . . . .	221
D.2.3	Řešení soustavy diferenciálních rovnic v normálním tvaru metodou Rungeho a Kutty 2. řádu . . . . .	223
D.2.4	Numerická inverze Laplaceových obrazů . . . . .	224