

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11

**Тема роботи.** Розрахунок однофазного некерованого випрямляча

**Мета роботи:** вивчення методів розрахунку та вибору параметрів однофазного некерованого випрямляча

### Теоретичні відомості

Усі схеми випрямлення можна розділити за наступними основними ознаками:

- за кількістю фаз первинної обмотки трансформатора — на однофазні та трифазні;

- за кількістю імпульсів струму у вторинній обмотці трансформатора за період - на одно-, та двотактні;

- за можливістю управляти вихідною напругою — на некеровані та керовані.

Основними експлуатаційними характеристиками випрямлячів є:

1. Середня напруга на навантаженні  $U_d$  та його середній струм  $I_d$ .

Опір навантаження і активна потужність становить:

$$R_H = \frac{U_d}{I_d}, \quad P_d = U_d I_d \quad (10.1)$$

2. Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги:

$$K_n = \frac{U_{m(1)}}{U_d} = \frac{2}{m^2 - 1}, \quad (10.2)$$

де  $U_{m(1)}$  - амплітудне значення основної гармоніки випрямленої напруги при розкладанні останньої у ряд Фур'є.

3. Зовнішня (навантажувальна) характеристика:  $U_d = f(I_d)$ .

4. Середнє значення струму через вентиль  $I_a$ .

5. Амплітудне значення струму через вентиль  $I_{am}$ .

6. Амплітудне значення зворотної напруги, що прикладається до вентиля  $U_{зв.т.}$

7. Коефіцієнт корисної дії  $\eta$ .

8. Надійність.

Знаючи експлуатаційні характеристики різних схем випрямлячів і вимоги з боку навантаження, обирають конкретну схему. На основі параметрів 4-6 вибирають некеровані вентиля.

Розрізняють такі режими роботи випрямлячів:

- на активне навантаження (R);

- на активно-індуктивне навантаження (RL);

- на активно-ємнісне навантаження (RC);

- на проти-електрорушійну силу – проти-е.р.с. (E).

Для спрощення аналізу випрямляча спочатку будемо розглядати його роботу на чисто активне навантаження, вважаючи трансформатор і діоди

ідеальними. Це означає, що втрати в трансформаторі відсутні, а діоди мають ідеальну вольт-амперну характеристику.

Для правильного вибору трансформатора та діодів необхідно визначити значення параметрів, якими характеризується робота кожного з елементів схеми випрямлення.

У випадках, коли розрахункова зворотна напруга випрямляча перевищує  $U_{зв.т}$  ( $U_{b.max}$ ) одного діода, застосовують послідовне увімкнення діодів (рис. 10.1). При цьому кожен діод потрібно шунтувати резистором зі значенням, яке на порядок більше зворотного опору діода, для того, щоб зворотна напруга рівномірно розподілилась між діодами.

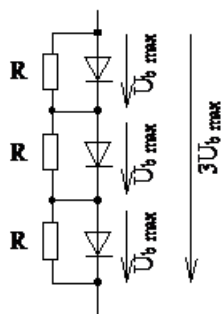


Рис. 10.1 - Послідовне увімкнення діодів

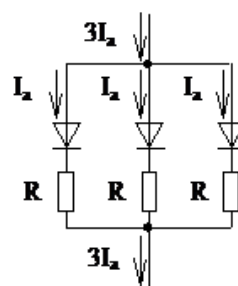


Рис. 10.2 - Паралельне увімкнення діодів

Для пропускання великих прямих струмів діоди з'єднуються паралельно (рис. 10.2). У цьому випадку для рівномірного розподілу прямого струму потрібно послідовно з кожним діодом увімкнути додатковий резистор (долі Ома, на порядок менший за прямий диференційний опір діода).

На практиці дуже часто використовують готові табличні дані для розрахунку параметрів випрямляча, знаючи тип схеми і характер навантаження (табл. 10.1)

У таблиці 10.1 прийняті позначення:

- $U_d$ , В - середнє значення випрямленої напруги;
- $I_d$ , А - середнє значення випрямленого струму;
- $U_{зв.т}$ , В - максимальнє значення зворотної напруги;
- $I_a$ , А - середнє значення струму через діод;
- $I_{ам}$ , А - максимальнє значення струму через діод;
- $P_d = U_d I_d$ , Вт - потужність випрямленого струму;
- $ктр$  - коефіцієнт трансформації трансформатора;
- $S_T$ , ВА- габаритна потужність трансформатора.

Таблиця 18.1 – Основні співвідношення між струмами та напругами в схемах однофазних двопівперіодних випрямлячів.

Розрахункова величина	Схема з нульовим виводом		Мостова схема	
	навантаження R	навантаження R-L	навантаження R	навантаження R-L
$U_d, B$	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}U_2 = 0,9U_2$			
$U_2, B$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}U_d = 1,11U_d$			
$kmp, -$	$\frac{U_1}{U_2}$			
$I_a, A$	$\frac{I_d}{2}$			
$I_{am}, A$	$I_d \frac{\pi}{2} = 1,57I_d$	$I_{am} \approx I_d$	$I_d \frac{\pi}{2} = 1,57I_d$	$I_{am} \approx I_d$
$U_{зв.м}, B$	$\pi U_d$		$\frac{\pi U_d}{2}$	
$I_2, A$	$I_d \frac{\pi}{4}$	$\frac{I_d}{\sqrt{2}}$	$1,11I_d$	$I_2 = I_d$
$I_1, A$	$1,11 \frac{I_d}{kmp}$	$\frac{I_d}{kmp}$	$1,11 \frac{I_d}{kmp}$	$\frac{I_d}{kmp}$
$S_1, BA$	$U_1 I_1 = 1,23P_d$	$1,11P_d$	$1,23P_d$	$1,11P_d$
$S_2, BA$	$2U_2 I_2 = 1,74P_d$	$1,57P_d$	$1,23P_d$	$1,11P_d$
$S_T, BA$	$\frac{S_1 + S_2}{2} = 1,48P_d$	$1,34P_d$	$1,23P_d$	$1,11P_d$

### Практична частина

**Задача 11.1.** Виконати розрахунок параметрів схеми однофазного двопівперіодного випрямляча (рис. 18.3, 18.4) згідно заданого варіанту (табл.18.2). Визначити розрахункову потужність трансформатора, переріз сердечника, коефіцієнт трансформації, діюче значення струмів первинної і вторинної обмоток, діаметр проводу обмоток, діюче значення струму вентиля, максимальну зворотну напругу на вентилі.

Вихідними даними для розрахунку є:

$U_2, B$  – напруга вторинної обмотки трансформатора;

$I_d, A$  - середнє значення випрямленого струму (струму навантаження);

$U_1, B$  - напруга мережі живлення.

Варіанти вихідних даних наведені в табл. 18.2.

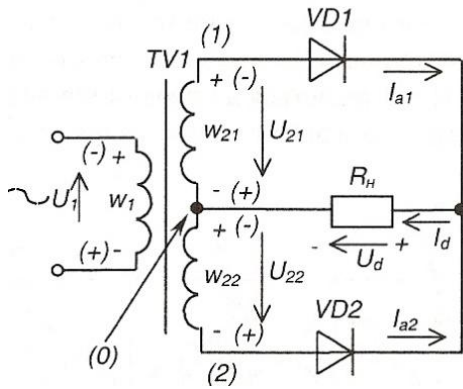


Рис. 18.3 - Однофазний випрямляч з нульовим виводом

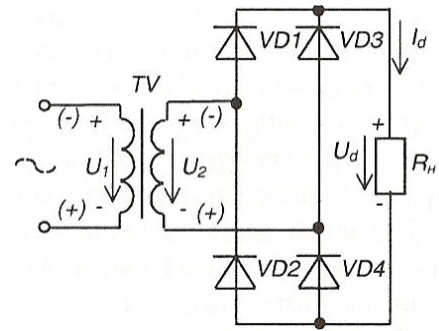


Рис. 18.4 - Однофазний мостовий випрямляч

Таблиця 18.2 - Вихідні дані для розрахунку випрямляча

Цифри номера залікової книжки		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
десятки	одиниці										
$U_1, B$		127	220	380	127	220	380	127	220	380	220
	$U_2, B$	12	24	36	42	110	20	24	36	110	42
	$R, Ом$	10	11	12	13	15	16	18	20	22	24
	схема рис.	18.3	18.4	18.3	18.4	18.3	18.4	18.3	18.4	18.3	18.4

Приклад вибору варіанта для номера залікової книжки 132:

з колонки 3 (десятки) маємо –  $U_1 = 127 B$ ;

з колонки 2 (одиниці) –  $U_2 = 36 B$ ;  $R = 12 Ом$ , схема рис.18.3.

*Методичні рекомендації до розв'язування задачі*

**Розв'язування.** Розрахунки виконуємо за даними таблиць 18.1

Середнє значення випрямленої напруги рівне

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} U_2 = 0,9U_2.$$

Максимальне значення зворотної напруги на вентилі

$$U_{зв.м} = 2\sqrt{2} U_2. \quad (18.3)$$

Середнє значення випрямленого струму

$$I_d = U_d / R.$$

Максимальне значення струму вентиля

$$I_{a.m} = \frac{\sqrt{2}U_2}{R} = 1,57I_d. \quad (18.4)$$

Середнє значення випрямленого струму вентиля

$$I_a = 0,5I_d. \quad (18.5)$$

Вибираємо тип діодів за табл. Д8. за умови забезпечення ближнього більшого номінального значення знайденого за (18.3-18.5) (наводяться всі параметри вибраного діоду з табл. Д8), або ж виконати умови згідно рис. 18.1, 18.2 .

Діюче значення струму первинної обмотки трансформатора

$$I_1 = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{I_d}{k_{mp}},$$

де  $k_{mp} = U_1 / U_2$  - коефіцієнт трансформації трансформатора.

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора

$$I_2 = \frac{\pi}{4} I_d.$$

Розрахункова потужність трансформатора:

- для випрямляча з нульовим виводом

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 1,48 P_d = 1,48 U_d I_d;$$

- для мостового випрямляча

$$S_T = (S_1 + S_2) / 2 = 1,23 P_d = 1,23 U_d I_d.$$

Площу перерізу сердечника трансформатора можна орієнтовно визначити за формулою

$$S_{CT} = 1,3 \sqrt{S_T} .$$

З табл. Д12 приймаємо ближній більший стандартний переріз броньованого пластинчатого магнітопроводу, який і застосовуємо для подальших розрахунків (наводяться всі параметри вибраного магнітопроводу з табл. Д12)

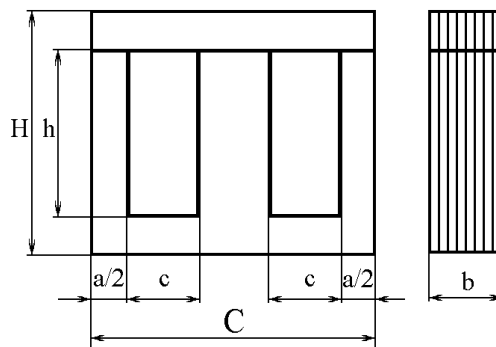


Рисунок 18.3 – Конструкція броньованого пластинчатого магнітопроводу

Діаметр проводів обмоток трансформатора

$$d_{1 \text{ мм}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_1}{3}} ;$$

$$d_{2 \text{ мм}} = 1,13 \sqrt{\frac{I_2}{3}} .$$

Перетин жил проводів визначаємо за формулою, мм<sup>2</sup>:

$$q = \pi r^2 = \pi \left( \frac{d}{2} \right)^2 ,$$

відповідно отримаємо:

$$q_1 = \pi \left( \frac{d_1}{2} \right)^2, \quad q_2 = \pi \left( \frac{d_2}{2} \right)^2.$$

За розрахованим перерізам провідників вибираємо стандартний переріз за умови  $(q_1)_{\text{ст}} \geq (q_1)$ ;  $(q_2)_{\text{ст}} \geq (q_2)$  та марку провідника.

Перерізи проводів приймаються із стандартного ряду у мм<sup>2</sup> (табл. Д14) (наводяться всі параметри вибраного перерізу провідника з табл. Д14).

Рекомендується застосування мідних ізольованих провідників наступних марок:

ПЕЛ або ПЕВ-1 при струмах в обмотці до 5А та напрузі до 500В;

ПЕЛБО або ПБД при струмах в обмотці більше 5А та напрузі до 500В.

Маркування обмотувальних проводів:

Перша літера - *провід (П)*

Подальша літера - *матеріал ізоляції*: ЕЛ - з лакостійкої емалі; ЕВ - з високоміцної емалі; Б - з х / б пряжі ([волокна](#)); О - один шар ізоляції; Д - два шари ізоляції.

При роботі трансформатора під навантаженням на опорах його обмоток відбувається падіння напруги, яке слід враховувати при визначенні числа витків в його обмотках.

Кількість витків первинної обмотки:

$$w_1 = \frac{U_1 \left( 1 - \frac{\Delta U_{1\%}}{100} \right) \cdot 10^4}{4,44 f B S_C}$$

де  $\Delta U_{1\%}$  - відносне падіння напруги в первинній обмотці трансформатора, згідно рекомендацій приймаємо 2,5% ;

$f = 50$ Гц – промислова частота;

$B$  – магнітна індукція магнітопроводу трансформатора, приймаємо  $B = 1,2$ Тл.

$S_C$  – площа поперечного перерізу осердя магнітопроводу.

Кількість витків вторинної обмотки:

$$w_2 = \frac{U_2 \left( 1 - \frac{\Delta U_{2\%}}{100} \right) \cdot 10^4}{4,44 f B S_C}$$

де  $\Delta U_{2\%}$  - відносне падіння напруги у вторинних обмотках трансформатора згідно рекомендацій приймаємо 1,0% .

Вибираємо міжшарову і міжвиткову ізоляцію.

В якості міжшарової ізоляції рекомендується приймати:

- за провідника діаметром менше 0,1 мм - конденсаторну бумагу товщиною 0,01 мм,
- за провідника діаметром до 0,5 мм - телефонну бумагу товщиною 0,05 мм;

- за провідника діаметром більше 0,5 мм - кабельну бумагу товщиною 0,12 мм.

В якості міжвиткової ізоляції за напруги до 1000В можна використовувати різні марки ізоляційної бумаги, намотаної у декілька шарів. Загальну товщину бумаги слід приймати рівною 0,2 мм.

Після вибору елементів схеми випрямляча наводиться розрахункова схема згідно свого варіанту (рис.18.3 чи 18.4), із прийнятими (розрахованими) параметрами

Таблиця Д8 – Основні параметри деяких випрямних діодів.

Тип діоду	Граничні електричні параметри за температури оточуючого середовища $25 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$			
	Допустима зворотна напруга $U_{зв. д}, \text{ В}$	Середнє значення випрямленого струму $I_{ан}, \text{ А}$	Макс. значення струму вентилля $I_{ант}, \text{ А}$	Пряме падіння напруги $U_{пр}$ (при $I_{ан}$ ), В
КД205Д	100	0,5	10	1,0
КД202Б	50	1,0	20	1,0
1N4001	50	1,0	50	1,5
1N5400	50	1,5	70	1,4
КД202А	50	3,5	150	1,0
КД202А	50	5,0	100	1,0
КД205Д	100	0,5	10	1,0
КД205К	100	0,7	14	1,0
КД208	100	1,0	20	1,0
1N4002	100	1,0	50	1,5
1N5401	100	3,0	100	1,4
КД202В	100	3,5	150	1,0
Д242А	100	10,0	200	1,2
Д112-16	100	16	300	1,35
КД212В	200	1,0	20	1,0
КД202Д	200	5	100	1,0
Д243	200	10,0	200	1,0
КД202Ж	300	5,0	150	1,0

Д245	300	10,0	200	1,0
Д246Б	400	5,0	100,0	1,5
ДЛ112-10	400	10	200	1,35

Таблиця Д12 – Броньові пластинчаті магнітопроводи

Позн. магнітопр.	Габаритні розміри, мм						Переріз стержня	Вага	К-сть пластин
	a	h	c	C	H	b	S <sub>ст</sub> , мм <sup>2</sup>	G <sub>ст</sub> гр	n, шт
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ш 09 х 09	9	22,5	9	36	31,5	9	0,74	45	23
Ш 09 х 12	9	22,5	9	36	31,5	12	0,98	60	31
Ш 12 х10	12	30	12	48	42	10	0,98	90	26
Ш 12 х12	12	30	12	48	42	12	1,31	110	31
Ш 12 х16	12	30	12	48	42	16	1,75	140	42
Ш 12 х20	12	30	12	48	42	20	2,18	180	52
Ш 12 х25	12	30	12	48	42	25	2,73	230	65
Ш 12 х 32	12	30	12	48	42	32	3,49	280	83
Ш 16 х10	16	40	16	64	56	10	1,31	156	26
Ш 16 х12	16	40	16	64	56	12	1,75	190	31
Ш 16 х16	16	40	16	64	56	16	2,33	260	42
Ш 16 х20	16	40	16	64	56	20	2,91	320	52
Ш 16 х25	16	40	16	64	56	25	3,64	400	65
Ш 16 х 32	16	40	16	64	56	32	4,66	510	83
Ш 16 х 40	16	40	16	64	56	40	5,82	630	104
Ш 20 х12	20	50	20	80	70	12	2,18	300	31
Ш 20 х16	20	50	20	80	70	16	2,91	400	42
Ш 20 х20	20	50	20	80	70	20	3,64	500	52
Ш 20 х25	20	50	20	80	70	25	4,55	620	65
Ш 20 х32	20	50	20	80	70	32	5,82	800	83
Ш 20 х 40	20	50	20	80	70	40	7,28	990	104
Ш 20 х 50	20	50	20	80	70	50	9,10	1240	130
Ш 25 х16	25	62,5	25	100	86,5	16	3,64	620	42
Ш 25 х20	25	62,5	25	100	86,5	20	4,55	770	52
Ш 25 х25	25	62,5	25	100	86,5	25	5,68	970	65
Ш 25 х32	25	62,5	25	100	86,5	32	7,28	1230	83
Ш 25 х40	25	62,5	25	100	86,5	40	9,10	1560	104
Ш 25 х 50	25	62,5	25	100	86,5	50	11,4	1930	130
Ш 25 х 64	25	62,5	25	100	86,5	64	14,5	2470	166
Ш 32 х20	32	80	32	128	112	20	5,82	1270	52
Ш 32 х25	32	80	32	128	112	25	7,28	1580	65
Ш 32 х32	32	80	32	128	112	32	9,32	2020	83
Ш 32 х40	32	80	32	128	112	40	11,65	2530	104
Ш 32 х50	32	80	32	128	112	50	14,56	3170	130
Ш 32 х 64	32	80	32	128	112	64	18,63	4040	166
Ш 32 х 80	32	80	32	128	112	80	23,29	5070	208
Ш 40 х25	40	100	40	160	140	25	9,10	2470	65
Ш 40 х32	40	100	40	160	140	32	11,65	3160	83



Ш 40 x40	40	100	40	160	140	40	14,56	4950	130
Ш 40 x50	40	100	40	160	140	50	18,2	4950	130
Ш 40 x65	40	100	40	160	140	64	23,29	6320	166
Ш 40 x 80	40	100	40	160	140	80	29,12	7920	208
Ш 40 x 100	40	100	40	160	140	100	36,40	9860	260

Примітка. У таблиці 12 наведені дані для сердечників із сталі Е42 товщиною 0,35мм.

Таблиця Д14 – Номінальні дані обмоткових дротів круглого перерізу

Діаметр дроту, мм	Переріз дроту, мм <sup>2</sup>	Вага 1м дроту, гр	Діаметр дроту з ізоляцією, мм			
			ПЕЛ	ПЕВ-1	ПЕВ-2	ПБД
0,03	0,00071	0,0063	0,05	0,045	—	—
0,04	0,00126	0,0112	0,06	0,055	—	—
0,05	0,00196	0,0175	0,065	0,08	—	—
0,06	0,00283	0,0251	0,075	0,085	0,09	—
0,07	0,00385	0,0342	0,084	0,095	0,10	—
0,08	0,00503	0,0447	0,095	0,105	0,11	—
0,09	0,00636	0,0565	0,105	0,115	0,12	—
0,10	0,00785	0,0698	0,120	0,125	0,13	—
0,11	0,00950	0,0845	0,130	0,135	0,14	—
0,12	0,01131	0,101	0,140	0,145	0,15	—
0,13	0,01327	0,118	0,150	0,155	0,16	—
0,14	0,01539	0,137	0,160	0,165	0,17	—
0,15	0,01767	0,157	0,170	0,18	0,19	—
0,16	0,02011	0,179	0,180	0,19	0,20	—
0,17	0,02270	0,202	0,190	0,20	0,21	—
0,18	0,02545	0,226	0,200	0,21	0,22	—
0,19	0,02835	0,252	0,210	0,22	0,23	—
0,20	0,31042	0,279	0,225	0,23	0,24	—
0,21	0,03464	0,308	0,235	0,24	0,25	—
0,23	0,04155	0,369	0,255	0,27	0,28	—
0,25	0,04909	0,436	0,275	0,29	0,30	—
0,27	0,05726	0,509	0,310	0,31	0,32	—
0,29	0,06605	0,587	0,330	0,33	0,34	—
0,31	0,07548	0,671	0,350	0,35	0,36	—
0,33	0,08553	0,760	0,370	0,37	0,38	—
0,35	0,09621	0,855	0,390	0,39	0,41	—
0,38	0,1134	1,010	0,420	0,42	0,44	0,01
0,41	0,1320	1,180	0,450	0,45	0,47	0,64
0,44	0,1521	1,350	0,490	0,48	0,50	0,67
0,47	0,1735	1,540	0,52	0,51	0,53	0,70
0,49	0,1886	1,680	0,54	0,53	0,55	0,72
0,51	0,2043	1,820	0,560	0,56	0,58	0,74
0,53	0,2206	1,960	0,580	0,58	0,60	0,76
0,55	0,2376	2,110	0,600	0,60	0,62	0,78
0,57	0,2552	2,270	0,620	0,62	0,64	0,80
0,59	0,2734	2,430	0,640	0,64	0,66	0,82

0,62	0,3019	2,680	0,670	0,67	0,69	0,85
0,64	0,3217	2,860	0,690	0,69	0,72	0,87
0,67	0,3526	3,130	0,720	0,72	0,75	0,90
0,69	0,3739	3,320	0,740	0,74	0,77	0,92
0,72	0,4072	3,600	0,780	0,77	0,80	0,96
0,74	0,4301	3,820	0,800	0,80	0,83	0,98
0,77	0,4657	4,140	0,830	0,83	0,86	1,01
0,80	0,5027	4,470	0,860	0,86	0,89	1,04
0,83	0,5411	4,810	0,890	0,89	0,92	1,07
0,86	0,5809	5,160	0,920	0,92	0,95	1,10
0,90	0,6362	5,660	0,960	0,96	0,99	1,14
0,93	0,6793	6,04	0,990	0,99	1,02	1,17
0,96	0,7238	6,44	1,020	1,02	1,05	1,20
1,00	0,7854	6,98	1,070	1,08	1,11	1,29
1,04	0,8495	7,55	1,120	1,12	1,15	1,33
1,08	0,9161	8,14	1,160	1,16	1,19	1,37
1,12	0,9852	9,76	1,200	1,20	1,23	1,41
1,16	1,0570	9,40	1,240	1,24	1,27	1,45
1,20	1,1310	10,10	1,280	1,28	1,31	1,49
1,25	1,2270	10,90	1,330	1,33	1,36	1,54
1,30	1,3270	11,80	1,380	1,38	1,41	1,59
1,35	1,4310	12,70	1,430	1,43	1,46	1,64
1,40	1,5390	13,70	1,480	1,48	1,51	1,69
1,45	1,6510	14,70	1,530	1,53	1,56	1,74
1,50	1,7670	15,70	1,580	1,58	1,61	1,79
1,56	1,9110	17,00	1,640	1,64	1,67	1,86
1,62	2,061	18,30	1,710	1,70	1,73	1,91
1,68	2,217	18,7	1,770	1,76	1,79	1,98
1,74	2,378	21,10	1,830	1,82	1,85	2,04
1,81	2,5730	22,9	1,900	1,90	1,93	2,11
1,88	2,776	24,7	1,970	1,97	2,00	2,18
1,95	2,987	26,5	2,040	2,04	2,07	2,25
2,02	3,205	28,5	2,12	2,11	2,14	2,32
2,10	3,464	30,80	2,200	2,20	2,23	2,40
2,26	4,0120	35,70	2,360	2,36	2,39	2,62
2,44	4,676	41,6	2,540	2,54	2,57	2,80
2,63	5,433	48,30	—	—	—	2,99
2,83	6,290	55,9	—	—	—	3,19
3,05	7,306	65,0	—	—	—	3,42
3,28	8,450	75,1	—	—	—	3,65
3,53	9,787	87,0	—	—	—	3,90
3,80	11,34	101,0	—	—	—	4,17
4,10	13,20	117,0	—	—	—	4,47
4,50	15,90	142,0	—	—	—	4,88
4,80	18,10	161,0	—	—	—	5,18
5,20	21,24	189,0	—	—	—	5,53

