

СИНТЕЗ ДЛИННОВОЛНОВЫХ ОТРЕЗАЮЩИХ ПРОПУСКАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ С ШИРОКОЙ ЗОНОЙ ВЫСОКОГО ОТРАЖЕНИЯ

Ш. А. Фурман и Е. Г. Столов

Рассчитаны отрезающие интерференционные оптические фильтры, обладающие высоким пропусканием в определенной части спектра и низким пропусканием в прилегающей к ней широкой коротковолновой зоне.

Задача создания длинноволновых отрезающих фильтров с широкой областью высокого отражения обычно решается путем использования многослойного покрытия, содержащего несколько интерференционных тонкослойных систем

$$0.5ВНВ \dots ВН0.5В \quad (1)$$

из чередующихся слоев В и Н с высоким n_B и низким n_H показателями преломления. У системы (1) оптические толщины крайних слоев в два раза меньше оптической толщины каждого из внутренних. Оптические толщины слоев подсистем выбираются таким образом, чтобы зоны высокого отражения отдельных подсистем были смещены и перекрывались [2, 3]. При этом возникает проблема согласования систем между собой и обрамляющими средами с целью получения высокого пропускания в заданной спектральной области. Этот вопрос можно решить путем введения между фильтрами и обрамляющими средами согласующих слоев, оптимальные показатели преломления которых определяются путем синтеза.

Рассмотрим фильтр типа

$$N \Pi_1 (l_1 A_1) \{K_1 [N_1 (0.5B_1 H_1 B_1 \dots B_1 H_1 0.5B_1)] (l_2 A_2) \times \\ \times \{K_2 [N_2 (0.5B_2 H_2 B_2 \dots B_2 H_2 0.5B_2)]\} (l_3 A_3) \Pi_2, \quad (2)$$

содержащий две подсистемы (элементарных фильтра) типа (1) и три согласующих слоя $l_1 A_1$, $l_2 A_2$ и $l_3 A_3$.

Оптические толщины внутренних слоев элементарных фильтров и согласующих слоев равны соответственно $K_1 \lambda_0$, $K_2 \lambda_0$, $l_1 \lambda_0$, $l_2 \lambda_0$, $l_3 \lambda_0$, символы A_1 , A_2 , A_3 , B_1 , B_2 , H_1 , H_2 означают слои с оптической толщиной λ_0 , где λ_0 — произвольная положительная постоянная, N_1 и N_2 — числа слоев в первом и втором элементарных фильтрах, N — полное число слоев в системе, Π_1 и Π_2 — полубесконечные обрамляющие среды.

Общая теория синтеза спектроделителей [1] применительно к структуре (2) дает следующую систему линейных уравнений для определения $r_0^{(1)}$, $r_1^{(1)}$, $r_0^{(2)}$, $r_1^{(2)}$, $r_0^{(3)}$, $r_1^{(3)}$, μ_1 , μ_2 , μ_3 ($r_0^{(1)}$ и $r_1^{(1)}$, $r_0^{(2)}$ и $r_1^{(2)}$, $r_0^{(3)}$ и $r_1^{(3)}$ — френелевские коэффициенты отражения на границах первого, второго и третьего согласующих слоев, μ_1 , μ_2 , μ_3 — неопределенные множители Лагранжа):

$$\left. \begin{aligned} A_{11}r_0^{(1)} + A_{12}r_1^{(1)} + A_{13}r_0^{(2)} + A_{14}r_1^{(2)} + A_{15}r_0^{(3)} + A_{16}r_1^{(3)} + \mu_1 &= C_1, \\ A_{21}r_0^{(1)} + A_{22}r_1^{(1)} + A_{23}r_0^{(2)} + A_{24}r_1^{(2)} + A_{25}r_0^{(3)} + A_{26}r_1^{(3)} + \mu_1 &= C_2, \\ A_{31}r_0^{(1)} + A_{32}r_1^{(1)} + A_{33}r_0^{(2)} + A_{34}r_1^{(2)} + A_{35}r_0^{(3)} + A_{36}r_1^{(3)} + \mu_2 &= C_3, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} A_{41}r_0^{(1)} + A_{42}r_1^{(1)} + A_{43}r_0^{(2)} + A_{44}r_1^{(2)} + A_{45}r_0^{(3)} + A_{46}r_1^{(3)} + \mu_2 &= C_4, \\ A_{51}r_0^{(1)} + A_{52}r_1^{(1)} + A_{53}r_0^{(2)} + A_{54}r_1^{(2)} + A_{55}r_0^{(3)} + A_{56}r_1^{(3)} + \mu_3 &= C_5, \\ A_{61}r_0^{(1)} + A_{62}r_1^{(1)} + A_{63}r_0^{(2)} + A_{64}r_1^{(2)} + A_{65}r_0^{(3)} + A_{66}r_1^{(3)} + \mu_3 &= C_6, \\ r_0^{(1)} + r_1^{(1)} = \frac{n_0^{(1)} - n_2^{(1)}}{2\sqrt{n_0^{(1)}n_2^{(1)}}}, r_0^{(2)} + r_1^{(2)} = \frac{n_0^{(2)} - n_2^{(2)}}{2\sqrt{n_0^{(2)}n_2^{(2)}}}, r_0^{(3)} + r_1^{(3)} = \frac{n_0^{(3)} - n_2^{(3)}}{2\sqrt{n_0^{(3)}n_2^{(3)}}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} A_{ii} &= \alpha_2 - \alpha_1; \quad A_{ik} = A_{ki}, \quad i, k = 1, 2 \dots 6, \\ A_{12} &= F(l_1); \quad A_{13} = F(m_1k_1 + l_1); \quad A_{14} = F(m_1k_1 + l_1 + l_2); \\ A_{15} &= F(m_1k_1 + m_2k_2 + l_1 + l_2); \quad A_{16} = F(m_1k_1 + m_2k_2 + l_1 + l_2 + l_3); \\ A_{23} &= F(m_2k_1); \quad A_{24} = F(m_2k_1 + l_2); \quad A_{25} = F(m_2k_1 + m_2k_2 + l_2); \\ A_{26} &= F(m_2k_1 + m_2k_2 + l_2 + l_3); \quad A_{34} = F(l_2); \quad A_{35} = F(m_2k_2 + l_2); \\ A_{36} &= F(m_2k_2 + l_2 + l_3); \quad A_{45} = F(m_2k_2); \quad A_{46} = F(m_2k_2 + l_3); \quad A_{56} = F(l_3). \end{aligned}$$

$$C_1 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^{q+1} F\left(\frac{k_1}{2} + qk_1 + l_1\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^{p+1} F\left(m_1k_1 + l_1 + l_2 + \frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$C_2 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^{q+1} F\left(\frac{k_1}{2} + qk_1\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^{p+1} F\left(l_2 + m_1k_1 + \frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$C_3 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^q F\left(\frac{k_1}{2} + qk_1\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^{p+1} F\left(l_2 + \frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$C_4 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^q F\left(\frac{k_1}{2} + qk_1 + l_2\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^{p+1} F\left(\frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$C_5 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^q F\left(m_2k_2 + l_2 + \frac{k_1}{2} + qk_1\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^p F\left(\frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$C_6 = \left[\rho_1 \sum_{q=0}^{m_1-1} (-1)^q F\left(m_2k_2 + qk_1 + \frac{k_1}{2} + l_2 + l_3\right) + \rho_2 \sum_{p=0}^{m_2-1} (-1)^p F\left(l_3 + \frac{k_2}{2} + pk_2\right) \right],$$

$$F(z) = \frac{\sin z\alpha}{z} \Big|_{\alpha_1}^{\alpha_2},$$

где $n_0^{(1)}$ и $n_2^{(1)}$, $n_0^{(2)}$ и $n_2^{(2)}$, $n_0^{(3)}$ и $n_2^{(3)}$ — показатели преломления сред, прилегающих к первому, второму и третьему согласующим слоям; $\alpha = 4\pi\lambda_0/\lambda$, λ — длина волны в вакууме; $[\alpha_1, \alpha_2]$ — интервал, в котором необходимо получить высокое пропускание; $N_1 = m_1 + 1$, $N_2 = m_2 + 1$ — число слоев в первом и втором элементарных фильтрах; $\rho_1 = (n_{N_1} - n_{N_1})/(n_{N_1} + n_{N_1})$ и $\rho_2 = (n_{N_2} - n_{N_2})/(n_{N_2} + n_{N_2})$ — френелевские коэффициенты отражения на границе слоев с высоким и низким показателями преломления в первом и втором элементарных фильтрах.

По вычисленным из системы (3) значениям $r_0^{(1)}$, $r_1^{(1)}$, $r_0^{(2)}$, $r_1^{(2)}$, $r_0^{(3)}$, $r_1^{(3)}$ несложно, согласно [1], определить искомые показатели преломления согласующих слоев $n_1^{(1)}$, $n_1^{(2)}$, $n_1^{(3)}$, $n_1^{(i)} = n_0^{(i)} [(1 - r_0^{(i)})/(1 + r_0^{(i)})]$ или $n_1^{(i)} = n_2^{(i)} [(1 + r_1^{(i)})/(1 - r_1^{(i)})]$. Так как последние три уравнения в (3) носят приближенный характер, то, если это необходимо, значения $\{r_1^{(k)}\}$ уточняются методом итераций. Для этого свободные члены в последних трех уравнениях системы (3) домножаются соответственно на $\sqrt{(1 - r_0^{(1)^2})(1 - r_1^{(1)^2})}$, $\sqrt{(1 - r_0^{(2)^2})(1 - r_1^{(2)^2})}$, $\sqrt{(1 - r_0^{(3)^2})(1 - r_1^{(3)^2})}$. Из полученной новой системы (3) находятся более точные значения $\{r_1^{(k)}\}$. Такой цикл может повторяться несколько раз. Критерием того, что $\{r_1^{(k)}\}$ вычислены точно, является совпадение значений $n_1^{(i)}$, $i = 1, 2, 3$, определенных по $r_0^{(i)}$ и по $r_1^{(i)}$.

Остановимся на расчете показателей преломления согласующих слоев для систем применяемых на практике.

Для показателей преломления материалов были приняты следующие значения: 5.0 — теллур (Te), 4.0 — германий (Ge), 2.7 — трехсернистая сурьма (Sb_2S_3), 2.3 — сернистый цинк (ZnS), 2.0 — двуокись титана (TiO_2), нанесенная химическим способом, 1.8 — моноокись кремния (SiO), 1.5 — бромистый калий (KBr), 1.45 — двуокись кремния (SiO_2), 1.38 — фтористый магний (MgF_2), 1.3 — фтористый стронций (SrF_2). Показатели преломления обрамляющих сред: 4.0 — германий, 2.35 — KRS-5, 2.2 — бескислородное стекло, 2.2 — клей ТКС, 1.55 — полиэтилен, 1.52 — стекло К8, 1.52 — клей типа бальзамин, 1.43 — фтористый кальций, 1.0 — воздух.

Был рассмотрен вариант, когда первый элементарный фильтр системы состоит из чередующихся слоев с показателями преломления 5.0 и 1.3, а второй — 2.7 и 1.3; $K_1=0.52$, $K_2=1.0$, $N_1=N_2=13$.

Расчеты в каждом случае были проделаны для двух интервалов $[\alpha_1, \alpha_2]$ — широкого и узкого, прилегающих к зоне высокого отражения с длинноволновой стороны. Найденные значения $n_1^{(1)}$, $n_1^{(2)}$ и $n_1^{(3)}$ приведены в табл. 1. В некоторых случаях система фильтров с согласующими слоями не обладает достаточно высоким значением коэффициента пропускания в рабочей области (например, когда $n_{B_1}=5.0$, $n_{H_1}=1.3$ и $n_{B_2}=2.7$, $n_{H_2}=1.3$ при значениях $n_{П_1}=4.0$ и $n_{П_2}=1.0$). Это обстоятельство указывает на необходимость либо увеличить число согласующих слоев, либо изменить конструкцию фильтра.

Т а б л и ц а 1

Значения показателей преломления согласующих слоев для систем
 $29\Pi_1 (I_1A_1) \{0.52 [13 (0.5B_1H_1V_1 \dots V_1H_1 0.5B_1)]\} \times$
 $\times (I_2A_2) \{1.0 [13 (0.5B_2H_2V_2 \dots V_2H_2 0.5B_2)]\} (I_3A_3) \Pi_2$

Показатели преломления обрамляющих сред		[α_1, α_2], рад.	l_1	l_2	l_3	$n_1^{(1)}$	$n_1^{(2)}$	$n_1^{(3)}$
$n_{П_1}$	$n_{П_2}$							
4.0	2.2	1.30—2.28	1.8	1.8	1.8	3.22	1.94	1.85
		1.80—2.28	1.5	1.5	1.5	3.24	1.87	1.77
1.43	1.0	1.30—2.28	1.8	1.8	1.8	1.87	1.90	1.23
		1.80—2.28	1.5	1.5	1.5	1.75	1.72	1.16
1.43	2.2	1.30—2.28	1.8	1.8	1.8	1.87	1.93	1.85
		1.80—2.28	1.5	1.5	1.5	1.80	1.77	1.76

Примечание. $n_{B_1}=5.0$ и $n_{H_1}=1.3$, $n_{B_2}=2.7$ и $n_{H_2}=1.3$, $K_1=0.52$, $K_2=1.0$.

Для систем, образованных элементарными фильтрами из одинаковых пар веществ, сопоставление спектральных кривых позволило сделать следующие важные выводы.

1. Согласующий слой, расположенный между элементарными фильтрами, ухудшает оптические свойства в зоне высокого пропускания (рис. 1).
2. Оптимальным, с точки зрения согласования, является такое расположение элементарных фильтров (подсистем), при котором фильтр с более тонкими слоями прилегает к обрамляющей среде с большим показателем преломления (рис. 2).

Результаты расчетов для наиболее практически важных случаев приведены в табл. 2. Рассчитанные системы состоят из 13-слойных элементарных фильтров типа 0.5ВН...Н0.5В. Между системой и обрамляющими средами имеется по одному согласующему слою, показатели преломления которых $n_1^{(1)}$ и $n_1^{(3)}$ были определены путем синтеза. В каждом случае тонкий элементарный фильтр прилегает к обрамляющей среде с большим показателем преломления. Расчет производился для двух спектральных интервалов $[\alpha_1, \alpha_2]$ — широкого и узкого, — примыкающих к зоне высокого отражения фильтра с длинноволновой стороны.

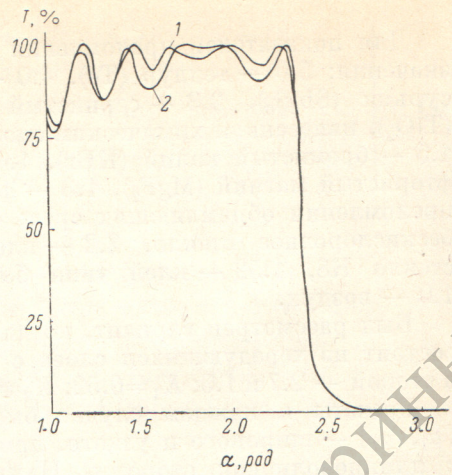
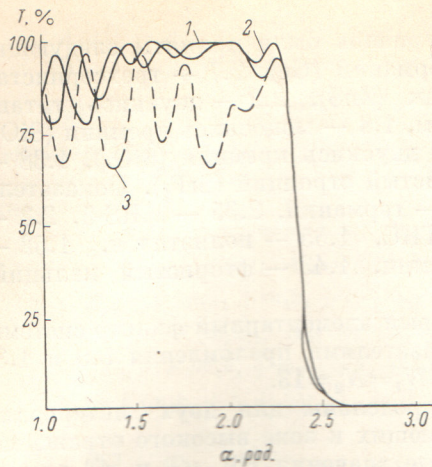


Рис. 1. Зависимость коэффициента пропускания T от $\alpha=4\pi\lambda_0/\lambda$ покрытий, содержащих два 13-слойных элементарных фильтра из чередующихся слоев с показателями преломления 2.7 и 1.3. Показатели преломления полубесконечных обрамляющих сред равны $n_{\Pi_1}=4.0$ и $n_{\Pi_2}=1.0$.

1 — 29-слойное покрытие $29\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_2) \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, показатели преломления согласующихся слоев $(1.5A_1)$, $(1.5A_2)$ и $(1.5A_3)$ равны соответственно $n_1^{(1)}=2.64$; $n_1^{(2)}=1.56$; $n_1^{(3)}=1.48$. Значение фазы, соответствующее коротковолновому подъему коэффициента пропускания на уровне $T=10\%$, $\alpha_{0.1}=5.2$ рад.; 2 — 28-слойное покрытие $28\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $n_1^{(1)}=2.46$ и $n_1^{(3)}=1.12$, $\alpha_{0.1}=5.1$ рад.; 3 — 26-слойное покрытие $26\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \Pi_2\}$, $\alpha_{0.1}=5.1$ рад.

Рис. 2. Зависимость коэффициента пропускания T от $\alpha=4\pi\lambda_0/\lambda$ 28-слойных покрытий, содержащих два 13-слойных фильтра из чередующихся слоев с показателями преломления 2.7 и 1.3. Показатели преломления полубесконечных обрамляющих сред Π_1 и Π_2 равны $n_{\Pi_1}=4.0$ и $n_{\Pi_2}=1.0$.

1 — $28\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $n_1^{(1)}=2.46$, $n_1^{(3)}=1.12$, $\alpha_{0.1}=5.1$ рад.; 2 — $28\Pi_1 (1.5A_1) \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $n_1^{(1)}=2.35$ и $n_1^{(3)}=1.20$, $\alpha_{0.1}=5.25$ рад.

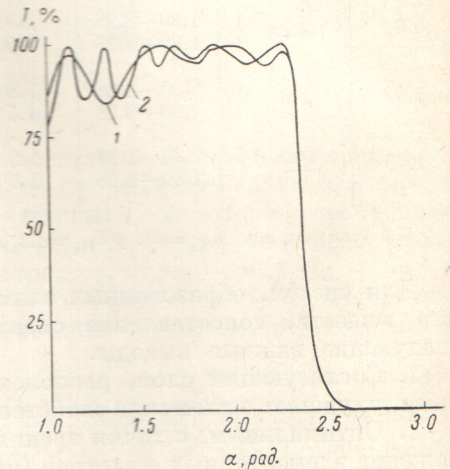
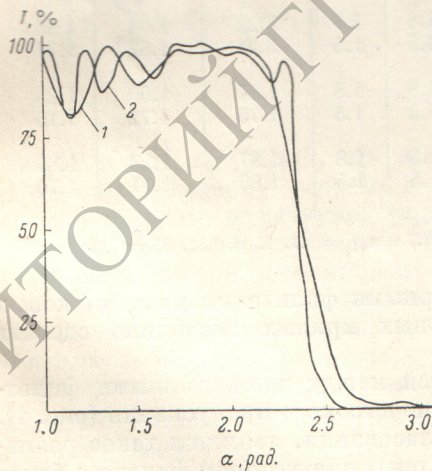


Рис. 3. Зависимость коэффициента пропускания T от $\alpha=4\pi\lambda_0/\lambda$ покрытий, содержащих два элементарных фильтра из чередующихся слоев с показателями преломления 2.7 и 1.3. Показатели преломления полубесконечных обрамляющих сред Π_1 и Π_2 равны $n_{\Pi_1}=4.0$ и $n_{\Pi_2}=1.0$, $n_1^{(1)}=2.46$ и $n_1^{(3)}=1.12$.

1 — 20-слойное покрытие $20\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [9 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{1.0 [9 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $\alpha_{0.1}=4.64$ рад.; 2 — 32-слойное покрытие $32\Pi_1 (1.5A_1) \{0.75 [15 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{1.0 [15 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $\alpha_{0.1}=5.2$ рад.

Рис. 4. Зависимость коэффициента пропускания T от $\alpha=4\pi\lambda_0/\lambda$ покрытий, содержащих 13-слойные элементарные фильтры из чередующихся слоев с показателями преломления 2.7 и 1.3. Показатели преломления полубесконечных обрамляющих сред Π_1 и Π_2 равны $n_{\Pi_1}=4.0$ и $n_{\Pi_2}=1.0$, $n_1^{(1)}=2.46$, $n_1^{(3)}=1.12$.

1 — 15-слойное покрытие $15\Pi_1 (1.5A_1) \{1.0 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $\alpha_{0.1}=3.9$ рад.; 2 — 41-слойное покрытие $41 (1.5A_1) \{0.56 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] \{0.75 [13 (0.5B \text{ Н В} \dots \text{ В Н } 0.5B)] (1.5A_3) \Pi_2\}$, $\alpha_{0.1}=6.8$ рад.

Таблица 2

Значения показателей преломления согласующих слоев для систем
 $28\Pi_1 (L_1 A_1) \{K_1 [13 (0.5ВНВ \dots ВН0.5)]\} \{K_2 [13 (0.5ВНВ \dots ВН0.5В)]\} (L_2 A_2) \Pi_2$

Показатели преломления слоев, входящих в состав элементарных фильтров системы		Показатели преломления обрамляющих сред		K_1	K_2	$[\alpha_1, \alpha_2], \text{ рад.}$	l_1	l_2	Показатели преломления согласующих слоев		
n_B	n_H	n_{Π_1}	n_{Π_2}						$n_1^{(1)}$	$n_1^{(2)}$	
2.7	1.3	1.43	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.28	1.8	1.8	1.53	1.21
							1.80—2.28	1.5	1.5	1.46	1.16
2.7	1.3	1.43	2.2	1.0	0.75	{	1.30—2.28	1.8	1.8	1.46	1.91
							1.80—2.28	1.5	1.5	1.47	1.82
2.7	1.3	2.2	2.2	1.0	0.75	{	1.30—2.28	1.8	1.8	1.82	1.91
							1.80—2.28	1.5	1.5	1.74	1.82
2.7	1.3	4.0	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.28	1.8	1.8	2.56	1.21
							1.80—2.28	1.5	1.5	2.48	1.12
2.7	1.3	4.0	2.2	0.75	1.0	{	1.30—2.28	1.8	1.8	2.57	1.82
							1.80—2.28	1.5	1.5	2.45	1.74
2.7	1.5	2.35	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.32	1.8	1.8	2.09	1.27
							1.80—2.32	1.5	1.5	2.01	1.21
2.7	1.5	2.35	1.55	0.75	1.0	{	1.30—2.32	1.8	1.8	2.08	1.61
							1.80—2.32	1.5	1.5	2.00	1.52
2.7	1.5	4.0	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.32	1.8	1.8	2.75	1.36
							1.80—2.32	1.5	1.5	2.62	1.20
2.7	1.5	4.0	1.55	0.75	1.0	{	1.30—2.32	1.8	1.8	2.71	1.60
							1.80—2.32	1.5	1.5	2.61	1.51
4.0	1.8	1.43	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.16	1.8	1.8	1.83	1.45
							1.80—2.16	1.5	1.5	1.77	1.38
4.0	1.8	4.0	1.0	0.75	1.0	{	1.30—2.16	1.8	1.8	3.14	1.45
							1.80—2.16	1.5	1.5	3.02	1.37
5.0	1.3	1.43	1.0	0.48	1.0	{	0.90—1.60	2.7	2.7	1.89	1.48
							1.30—1.60	2.1	2.1	1.93	1.43
5.0	1.3	1.43	2.2	1.0	0.48	{	0.90—1.60	2.7	2.7	1.93	2.38
							1.30—1.60	2.1	2.1	1.72	2.46
5.0	1.3	4.0	1.0	0.48	1.0	{	0.90—1.60	2.7	2.7	3.25	1.50
							1.30—1.60	2.1	2.1	3.22	1.45
2.3	1.38	1.52	1.0	0.84	1.0	{	1.46—2.48	1.70	1.70	1.54	1.17
							2.0—2.48	1.42	1.42	1.50	1.09
2.3	1.38	1.52	1.52	0.84	1.0	{	1.46—2.48	1.70	1.70	1.51	1.46
							2.0—2.48	1.42	1.42	1.55	1.36
2.0	1.45	1.52	1.0	0.9	1.0	{	1.50—2.56	1.65	1.65	1.52	1.20
							2.0—2.56	1.40	1.40	1.50	1.16
2.0	1.45	1.52	1.52	0.9	1.0	{	1.50—2.56	1.65	1.65	1.53	1.49
							2.0—2.56	1.40	1.40	1.50	1.43

Если число слоев в элементарном фильтре отлично от 13, нет необходимости заново проделывать расчеты. Заимствуя значения $n_1^{(1)}$, $n_1^{(2)}$, l_1 и l_2 из табл. 2, согласно показателям преломления слоев и обрамляющих сред, можно получить хороший результат при любом числе слоев подсистем (рис. 3).

В случае, когда число элементарных фильтров отлично от двух, можно также использовать данные табл. 2 (рис. 4).

Достоинство предложенного способа синтеза заключается в том, что он позволяет осуществить согласование фильтров между собой не в заданной точке спектра [4, 5], а в широкой области.

При практической реализации рассчитанных покрытий не возникает существенных затруднений. В случае отсутствия материалов с требуемыми показателями преломления согласующие слои могут имитироваться либо секциями типа $\frac{V}{2} N \frac{V}{2}$ или $\frac{H}{2} V \frac{H}{2}$ [6], либо чередующимися неравнотолщинными слоями с высоким и низким показателями преломления.

Отметим, что в случае небольшой разницы в показателях преломления обрамляющей среды и согласующего слоя устранение последнего незначительно сказывается на спектральной характеристике фильтра. Например, для фильтров из веществ с показателями преломления 2.3 и 1.38 (табл. 2).

Литература

- [1] Ш. А. Фурман, Е. Г. Столов. *Опт. и спектр.*, 38, 787, 1975.
- [2] Е. А. Несмелов, Г. П. Колюхов, *Ж. прикл. спектр.*, 10, 630, 1969.
- [3] Ф. А. Королев, А. Ю. Клементьева, Т. Ф. Мещерякова. *Опт. и спектр.*, 30, 966, 1971.
- [4] Л. Б. Кацнельсон, Ш. А. Фурман. *Опт.-механич. промышл.*, № 7, 19, 1973.
- [5] Г. П. Колюхов, Е. А. Несмелов. *Опт. и спектр.*, 34, 976, 1973.
- [6] L. I. Epstein. *J. Opt. Soc. Am.*, 42, 806, 1952.

Поступило в Редакцию 23 января 1974 г.