

Лекция 6.

ЛИНЕЙНАЯ ЭКВИДИСТАНТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЁТКА

Ширина диаграммы направленности решётки зависит не только от множителя решётки, но и от диаграммы направленности элемента решётки, но при большом числе элементов решётки в плоскости решётки ширина диаграммы близка к ширине диаграммы множителя решётки.

Ширину главного лепестка диаграммы направленности $\Delta\vartheta$ по половинной мощности при достаточно широкой диаграмме единичного элемента (строго говоря, для всенаправленного единичного элемента) можно выразить через ширину главного лепестка множителя решётки по обобщённому углу. $\Delta\Psi$: Для нахождения такой связи достаточно продифференцировать выражение:

$$\Psi = \frac{Nkd}{2}(\cos \vartheta - \xi) \quad (6-1)$$

$$|\Delta\Psi| = \frac{Nkd}{2}|\sin \vartheta||\Delta\vartheta|$$

Получим:

$$\text{Следовательно:} \quad \Delta\vartheta = \frac{2\Delta\Psi}{Nkd|\sin \vartheta|} \quad (6-2)$$

Чтобы найти $\Delta\Psi_{0.5}$ нужно решить уравнение:

$$f(\Psi) \equiv \frac{\sin(\Psi)}{N \sin(\Psi/N)} - \frac{1}{\sqrt{2}}; \quad (6-3)$$

Решим это уравнение итерационным методом Ньютона, согласно которому следующее приближение находится по предыдущему по формуле:

$$\Psi_{n+1} = \Psi_n - \frac{f(\Psi_n)}{f'(\Psi_n)}; \quad (6-4)$$

$f(\Psi_n)$ вычисляется согласно (6-3). Найдём выражение производной.

$$f'(\Psi) = \frac{\cos \Psi}{N \sin(\Psi/N)} - \frac{\cos(\Psi/N) \sin \Psi}{(N \sin(\Psi/N))^2}; \quad (6-5)$$

В качестве нулевого приближения в формуле (6-4) возьмём $\Psi_0 = \pi/2$. Подставляя это значение в (6-3), (6-5), (6-4), получим $\Psi_1 \approx 1.3969$. Такого приближения уже достаточно для инженерной практики. Тем не менее, продолжая итерационный процесс, найдём, что следующая итерация даёт небольшую поправку $\Psi_2 \approx 1.3916$, а при дальнейших итерациях результат в значащих цифрах не меняется. Таким образом, корень уравнения (6-3), соответствующий отклонению от максимума, $\Psi \approx 1.39$. Ввиду симметрии множителя решётки полная ширина главного лепестка соответствует удвоенному отклонению и составит $\Delta\Psi_{0.5} \approx 2.78$. Применяя выражение (6-2), найдём: ширину главного лепестка в радианах:

$$\Delta\vartheta_{0.5} \approx \frac{2\Delta\Psi_{0.5}}{Nkd \sin \vartheta_{\max}} \approx \frac{2.78\lambda}{\pi L \sin \vartheta_{\max}}; \quad (6-6)$$

В формуле (6-6) L – это полная длина решётки, $L = (N - 1)d$. При больших значениях N единицей можно пренебречь: $L \approx Nd$. После перевода радиан в градусы и подстановки всех констант, получаем ширину главного лепестка по уровню половинной мощности, выраженную в градусах:

$$\Delta\vartheta_{0.5}^{\circ} \approx \frac{51^{\circ}\lambda}{L\sqrt{1-\xi^2}}; \quad (6-7)$$

Ширина главного лепестка множителя решётки по нулям (для обобщённых углов): $\Delta\Psi_0 = 2\pi$. Пользуясь формулой (6-2) и переводя решение в градусы, найдём:

$$\Delta\vartheta_0^{\circ} \approx \frac{115^{\circ}\lambda}{L\sqrt{1-\xi^2}}; \quad (6-8)$$

Формулы (6-7) и (6-8) совершенно не учитывают влияние на ширину ДН характеристики излучения единичного элемента решётки. На практике после приближённого проектирования антенной решётки проводят уточнение полученных параметров с учётом влияния ДН единичного элемента. Это иногда позволяет добиться получения требуемых параметров при меньшем числе элементов.

6.2 Область видимости и условие отсутствия побочных максимумов.

Диаграмма направленности эквидистантной линейной решётки, с равными амплитудами и линейно нарастающей фазой, описывается простыми выражениями:

$$\frac{\sin \Psi}{N \sin(\Psi/N)}, \text{ в котором } \Psi = \frac{Nkd}{2}(\cos \vartheta - \xi)$$

В сферической системе координат угол ϑ меняется в пределах от 0, в направлении оси решётки, до π , в противоположном направлении. При этом $\cos \vartheta$ меняется от +1 до -1, а, согласно определению обобщённого угла Ψ (6-1') он меняется, при этом, от

$$\Psi_1 = \frac{Nkd}{2}(1 - \xi) \text{ до } \Psi_2 = \frac{Nkd}{2}(-1 - \xi),$$

всего на $\Psi_1 - \Psi_2 = Nkd$. Эта область значений обобщённого угла называется **областью видимости**. В зависимости от величины kd область видимости может занимать как малую часть диаграммы множителя решётки, так и охватывать несколько периодов, в частности, иметь несколько одинаковых максимумов.

Антенную решётку из слабонаправленных элементов создают ради увеличения направленности, чтобы сосредоточить энергию излучения в одном направлении. Поэтому, чтобы не допустить потерь энергии, нежелательно допускать существование в диаграмме направленности нескольких максимумов. Получим достаточные условия отсутствия побочных максимумов. Если элементы решётки синфазны, луч антенной решётки направлен перпендикулярно оси решётки, а область видимости симметрична относительно максимума при $\Delta\Phi = 0$. Если же $\Delta\Phi > 0$, а, следовательно и $\xi > 0$, что соответствует запаздыванию токов элементов с большими номерами, то область видимости смещается влево (рис. 6.1).

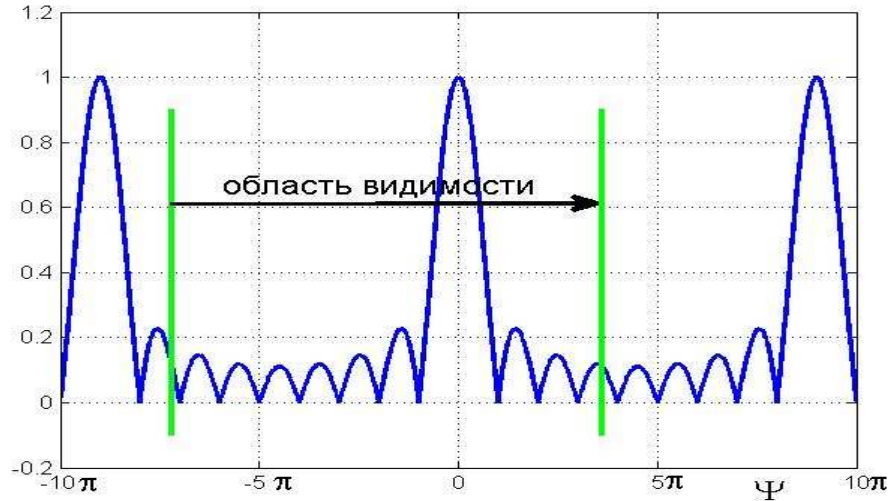


Рис. 6.1. Область видимости ($N=9$, $kd=1.2$, $\xi=1/3$)

Чтобы область видимости не захватила бы левого максимума, должно выполняться неравенство:

$$\Psi_2 = \frac{Nkd}{2}(-1-\xi) > -(N-1)\pi \quad (6-9)$$

Чтобы область видимости не попала на правый максимум, достаточно выполнить неравенство:

$$\Psi_1 = \frac{Nkd}{2}(1-\xi) < (N-1)\pi \quad (6-10)$$

В результате упрощений, при любом знаке разности фаз, условие отсутствия побочных максимумов имеет вид:

$$\frac{d}{\lambda} < \left(1 - \frac{1}{N}\right) \frac{1}{1+|\xi|} \quad (6-11)$$

Это неравенство важно для правильного выбора расстояния между элементами решётки. Если неравенство нарушено, существует **опасность** появления побочного максимума в диаграмме направленности. При этом, однако, побочный максимум может быть подавлен в случае, когда уровень амплитудной диаграммы единичного элемента решётки имеет в направлении этого максимума низкий уровень, даже в случае нарушения неравенства.

Множитель решётки определяется простым выражением (5-19) в зависимости от обобщённого угла Ψ , поэтому легко может быть изображён графически. А как получить графическое изображение множителя решётки в координатах **реальных** углов ϑ ? Методика такого построения основана на том, что обобщённый угол Ψ , согласно (6-1), линейно зависит от $\cos \vartheta$, причём, значениям угла ϑ 0 и π соответствующую границы области видимости.

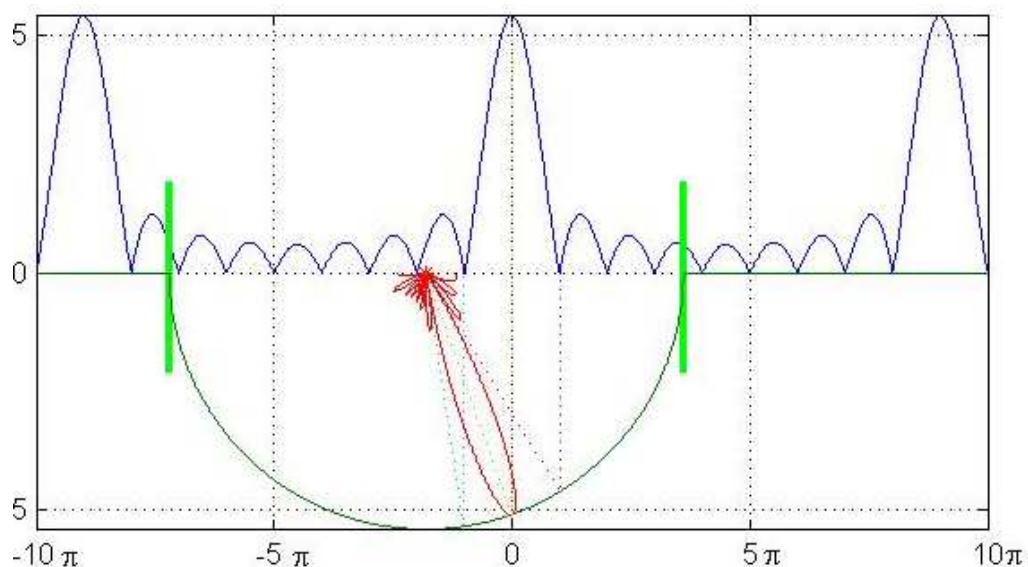


Рис.6.2. Построение графика множителя решётки в полярных координатах реальных углов

Для графического построения начинаем с графика множителя решётки в зависимости от обобщённого угла (рис.6-2). Отмечаем на нём область видимости и строим на области видимости как на диаметре полуокружность в отрицательной области значений. Отмечаем центр этой полуокружности. Далее на рис. 6-2 показано, как построить в полярных координатах главный лепесток. Линии построения нулей и максимума лепестка показаны на рис. 6.2 пунктиром. Ось полярной системы координат совпадает с центром области видимости. Аналогично главному лепестку строятся боковые лепестки множителя решётки.

Похожим способом производится графическое построение диаграммы направленности множителя решётки в декартовых координатах реальных углов (рис6-3).

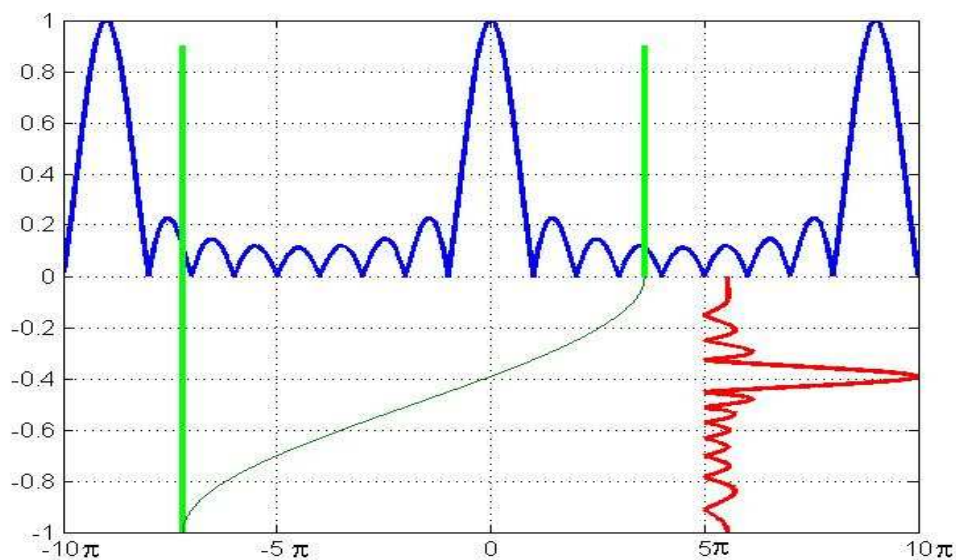


Рис.6.3. Построение графика множителя решётки в декартовых координатах реальных углов

Вместо полуокружности на области видимости строится график косинусоиды с горизонтальной координатой значений. По вертикальной оси откладываются углы θ в некотором масштабе.

Режим излучения решётки определяется отношением разности фаз возбуждения соседних элементов решётки по сравнению с разностью фаз в плоской волне,

распространяющейся между этими элементами $\xi = \Delta\Phi/kd$. Изменение ξ приводит к изменению границ области видимости. Для синфазной решётки ($\xi=0$) главный лепесток находится в центре области видения, а решётка излучает по нормали к оси решётки ($\theta=\pi/2$). При $|\xi|<1$ реализуется режим наклонного излучения с максимумом главного лепестка в направлении, определяемом соотношением: $\cos \vartheta_m = \xi$. При $|\xi|=1$ решётка излучает вдоль своей оси. Режим осевого излучения реализуется также при некотором увеличении замедления по сравнению с единицей.

6.3. КНД линейной антенной решётки

Многоэлементные решётки строятся с целью уменьшения ширины диаграммы направленности антенны по сравнению с диаграммой одного элемента, или, что то же самое, для увеличения направленности (КНД). Приближённое вычисление КНД для случая большого числа элементов решётки при $|\xi| \leq 1 - \lambda/Nd$ показывает, что КНД практически не зависит от величины замедления ξ и определяется выражением: $D \approx 2Nd/\lambda$. Но при увеличении $|\xi|$ до 1 в режиме осевого излучения КНД резко возрастает до $D \approx 4Nd/\lambda$. При дальнейшем увеличении $|\xi|$ КНД продолжает расти до значения $D \approx 7.2Nd/\lambda$ при оптимальном замедлении $|\xi| = 1 + \lambda/2Nd$, а затем резко убывает из-за роста уровня боковых лепестков (рис. 6-4). Максимум КНД соответствует случаю, когда граница области видимости соответствует величине обобщённого угла $\Psi = -\pi/2$ (при направлении излучения вправо).

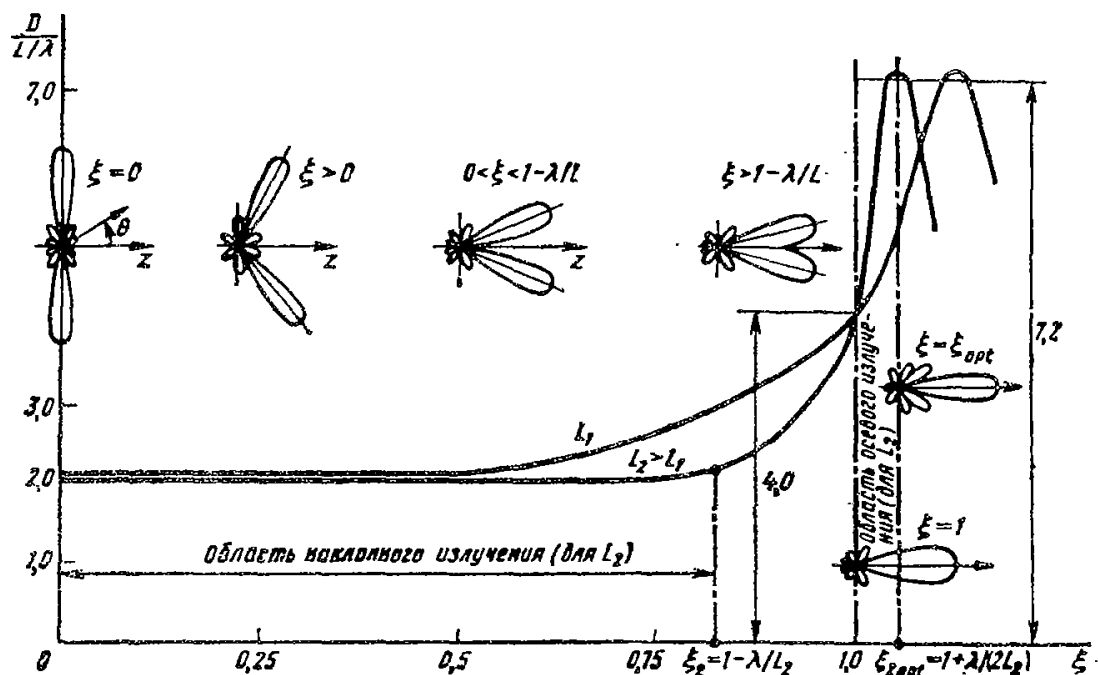


Рис. 6-4. Зависимость КНД линейной решётки от относительного запаздывания.

6.4. Волноводно-щелевые антенные решётки

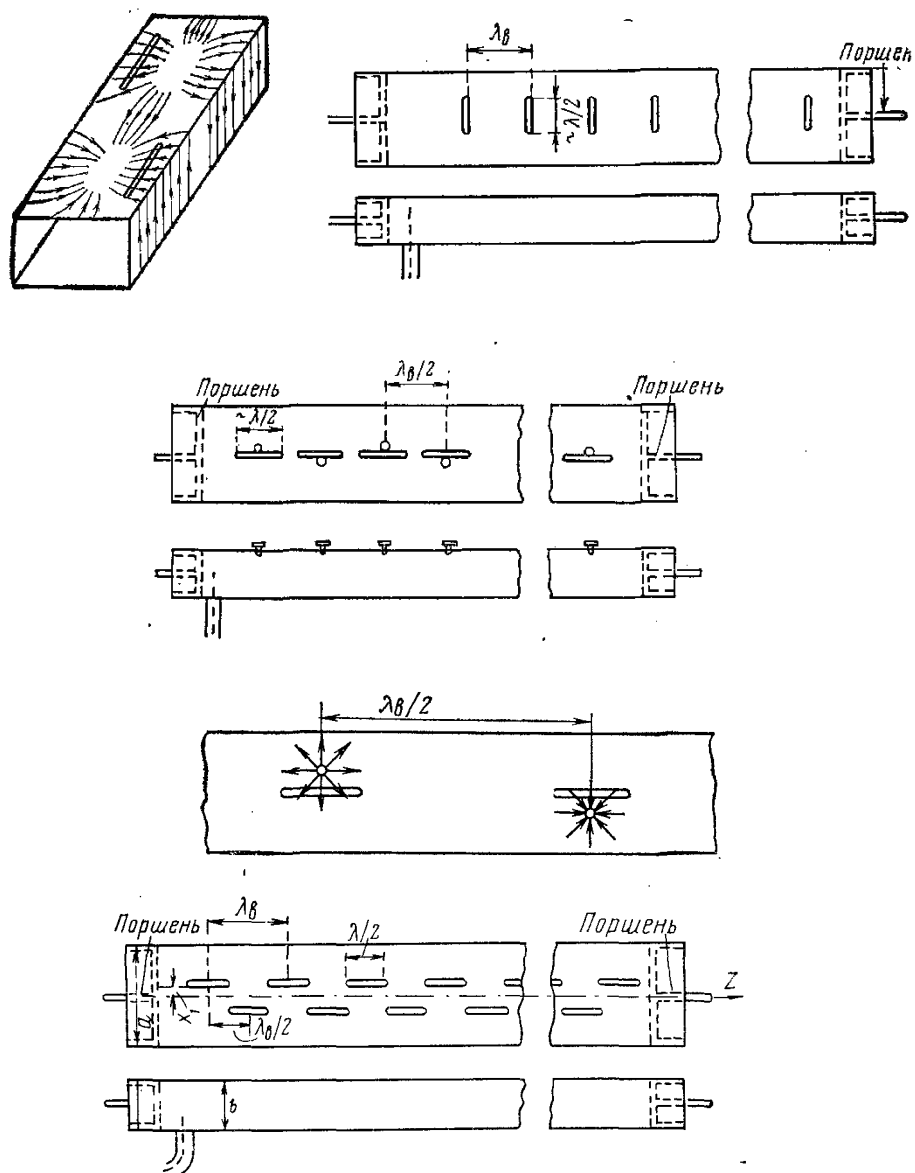
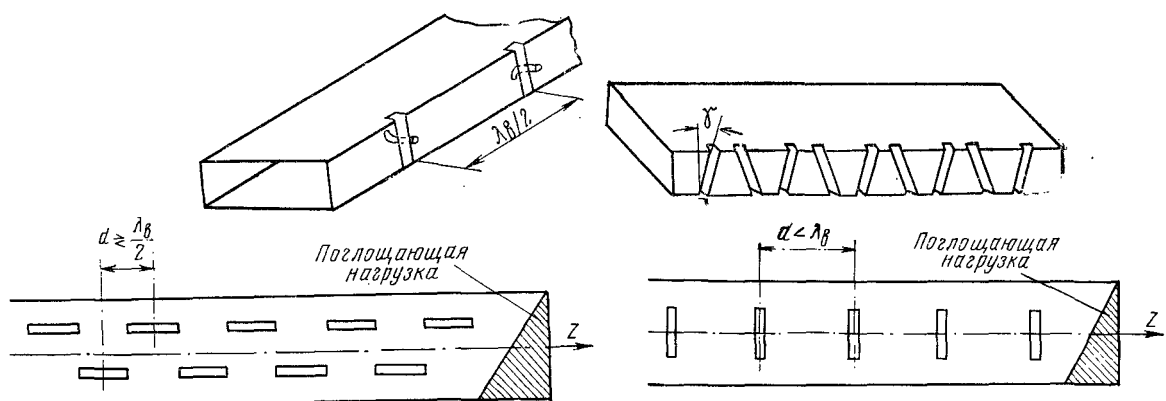


Рис. 6.5. Резонансные синфазные волноводно-щелевые решётки



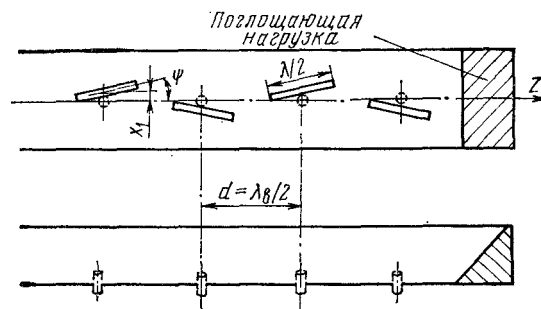


Рис. 6.6. Нерезонансные синфазные волноводно-щелевые антенные решётки

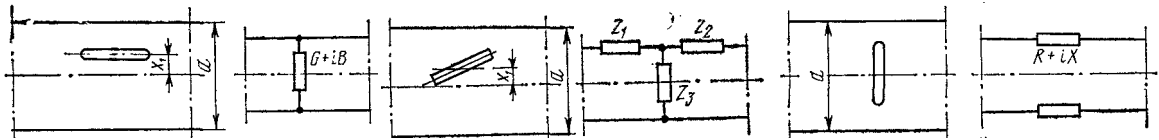


Рис. 4.6. Схемы замещения щелей в прямоугольном волноводе

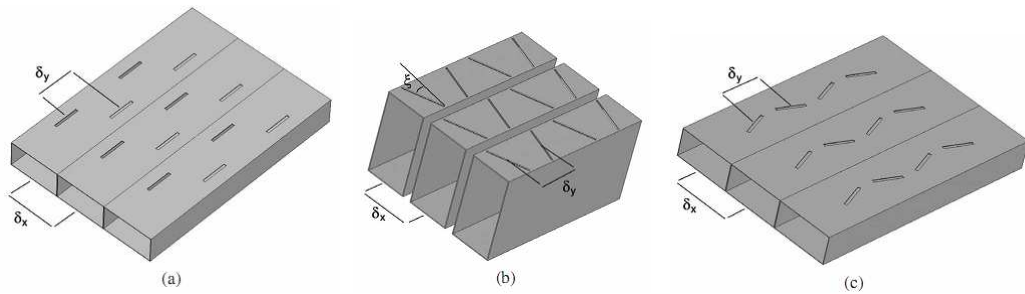


Рис. 6.7 Типичные конструкции волноводно-щелевых решёток