

В. М. РОДИОНОВ

**СБОРНИК НОМОГРАММ
ПО РАДИОТЕХНИКЕ**

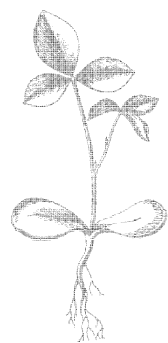
ИЗДАТЕЛЬСТВО „СОВЕТСКОЕ РАДИО“
МОСКВА 1953

В. М. РОДИОНОВ

СБОРНИК НОМОГРАММ ПО РАДИОТЕХНИКЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „СОВЕТСКОЕ РАДИО“
МОСКВА 1953



ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время номографические методы начинают занимать все большее место в практике инженерно-технических расчетов. Являясь очень удобным счетным инструментом для вычислений по готовым формулам, номограммы позволяют значительно сократить время расчетов и быстро решить нужную задачу с достаточной для практики точностью. Основным достоинством номограмм как вычислительного аппарата является быстрота вычислений по ним. Преимущество номограмм в том, что они позволяют быстро решать в численном виде номографированное уравнение относительно любой входящей в него переменной и широко варьировать исходными данными для получения требуемого ответа в нужных единицах. Для пользования номограммой в большинстве случаев вполне достаточно бывает внимательного ознакомления по тексту с правилами пользования каждой номограммой или даже только изучения схем пользования, помещенных на листах номограмм.

К сожалению, внедрение номограмм в инженерную практику идет все еще очень медленно и тормозится отсутствием достаточного количества сборников номограмм и пособий по номографическим методам исследования. Поэтому в большинстве случаев номограммы попадают в нужные руки случайно и в разрозненном виде, не всегда производя тот эффект, которого от них можно ожидать. В области радиотехники известен до настоящего времени лишь один сборник номограмм, но он был выпущен давно (1941 г.) и не мог охватить целого ряда важных вопросов современной радиотехники. Поэтому настоящий сборник в какой-то мере должен послужить восполнению этого пробела.

Перед составителем сборника стояла цель: номографировать наиболее необходимые в радиотехнике формулы и систематизировать ряд уже опубликованных ранее номограмм. При этом была использована отечественная и иностранная литература. Однако все номограммы, заимствованные из других источников, подверглись переработке, направленной как на улучшение и упрощение номограмм и унификацию единиц, так и на устранение ошибок, встретившихся в оригиналах. Часть номограмм разработана автором и публикуется впервые.

Небольшой объем книги отразился в известной мере и на подборе материала, поэтому помещаются только те номограммы, которые могут найти наиболее широкое применение. По этой же причине объем пояснительного текста максимально уменьшен. Сборник состоит из восьми глав, содержащих по несколько тематически объединенных разделов, каждому из которых соответствует одна или несколько номограмм, выполненных для удобства на отдельных листах. Текст содержит правила пользования и примеры расчетов по номограммам, а в некоторых случаях и минимум необходимых теоретических сведений. На каждом листе номограммы имеется формула, по которой составлена номограмма, схема пользования ею и пример расчета.

Номограммы нужно рассматривать как универсальный расчетный инструмент, пользоваться которым следует не механически, а осмысленно. Всегда следует видеть физическую сторону решаемой задачи и четко представлять себе практические пределы изменения входящих в расчет величин. Многие номограммы сборника, предназначенные для решения определенных вопросов, можно применять и для любых других задач, если эти задачи описываются формулами такой же структуры, как и номографированная. Поэтому читатель, вероятно, сможет более широко использовать предлагаемые его вниманию номограммы, решая самостоятельно вопрос о размерностях и единицах.

Настоящий сборник предназначен для учащихся и инженерно-технических работников, связанных с радиотехническими расчетами. Отзывы читателей и их замечания о содержании сборника будут с благодарностью восприняты автором.

ГЛАВА ПЕРВАЯ
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ НОМОГРАММЫ

НОМОГРАММА № 1

1.1. СТЕПЕНИ И КОРНИ ИЗ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ЧИСЕЛ

Номограмма дает возможность определять с достаточной для практических целей точностью корни степени от 1,6 до 6 из действительных чисел $\sqrt[n]{N} = m$. Заданное число откладывается на шкале N . На шкале n отмечается нужный показатель корня. Точки, помеченные на шкалах N и n , соединяются между собой прямой линией. На шкале m в месте пересечения ее с этой прямой находится ответ. В случае, если понадобится вычислить корень из числа, которое не может быть отложено на шкале номограммы, нужно представить заданное число в форме $\sqrt[n]{N \cdot 10^{kn}}$ (где k — целое число), так чтобы N можно было отложить на шкале. Тогда $\sqrt[n]{N \cdot 10^{kn}} = \sqrt[n]{N} \cdot 10^k$.

Пример. $\sqrt[2,4]{144} = 8,1$.

Эта же номограмма позволяет находить степени чисел $m^n = N$. В этом случае основание m откладывается на верхней горизонтальной шкале, а показатель степени n — на вертикальной шкале слева. По шкале N определяется ответ.

НОМОГРАММА № 2

1.2. КВАДРАТНЫЕ КОРНИ ИЗ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ

Номограмма дает возможность находить квадратные корни вида $\sqrt{z} = x + jy$ из комплексных чисел $z = a + jb$. Для этого сначала определяется отношение $k = \frac{a}{b}$ и откладывается на нижней шкале номограммы. По оси ординат слева откладывается значение b и опре-

деляется точка пересечения этих двух прямоугольных координат. Значения x и y отсчитываются на соответствующих наклонных линиях, проходящих через найденную точку. При работе с этой номограммой необходимо учитывать знак комплексного числа в соответствии с правилами действия над комплексными числами. Применение номограммы поясняется следующими примерами.

$$1) z = a + jb = 15 + j20. \quad k = \frac{15}{20} = 0,75; \quad b = 20.$$

В этой точке $x = 4,46$ и $y = 2,25$, поэтому $\sqrt{z} = \pm(4,46 + j2,25)$,

$$2) \text{ Дано } z = -15 + j20 \quad k = 0,75; \quad b = 20. \text{ Находим } \sqrt{z} = \pm(2,25 + j4,46);$$

$$3) \text{ Дано } z = -15 - j20. \quad k = 0,75; \quad b = 20. \text{ Находим } \sqrt{z} = \pm(2,25 - j4,46);$$

$$4) \text{ Дано } z = 15 - j20. \quad k = 0,75; \quad b = 20. \text{ Находим } \sqrt{z} = \pm(4,46 - j2,25).$$

Если координаты заданного комплексного числа не позволяют в масштабе графика произвести операцию извлечения квадратного корня, то надо вынести из этого числа такой множитель вида $10^{\pm 2n}$, чтобы оставшееся число можно было отложить на графике. После нахождения квадратного корня из этого числа результат надо умножить на квадратный корень из вынесенного множителя.

НОМОГРАММА № 3

1.3. ПЕРЕСЧЕТ КОМПЛЕКСНЫХ ЧИСЕЛ ИЗ ДЕКАРТОВЫХ КООРДИНАТ В ПОЛЯРНЫЕ

Номограмма позволяет производить быстрый пересчет комплексных чисел из алгебраической формы $z = x + jy$ в тригонометрическую $z = |\bar{z}|(\cos \varphi + j \sin \varphi)$ или полярную $z = |\bar{z}|e^{j\varphi}$. Для этой цели на графике определяется точка с прямоугольными координатами x и y , равными действительной и мнимой частям заданного комплексного числа, а затем считываются соответствующие ей полярные координаты: на кривых — модуль числа $|\bar{z}|$, а на наклонных линиях — аргумент этого числа φ (в градусах).

Пример.

Комплексное число $z = 3 + j4$ ($x = 3$; $y = 4$) имеет полярные координаты: $|\bar{z}| = 5$ и $\varphi = 53^\circ$.

1.4. ОБРАТНЫЕ КОМПЛЕКСНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

По номограмме № 4 можно находить комплексные числа $z^{-1} = x + jy$, обратные данным $z = a + jb$. Для этого на плоскости декартовых координат откладывается заданное комплексное число $z = a + jb$ (a — откладывается на верхней шкале, b — на правой). Координаты этой точки x ; y в криволинейной системе координат, нанесенной на том же графике (y — отсчитывается слева, x — внизу), определяют комплексное число, обратное данному $z^{-1} = x + jy$. При этом знаки у мнимых величин b и y противоположны.

Пример.

Комплексное число $z = 3 + j4$. Обратное ему комплексное число $z^{-1} = 0,12 - j0,46$.

В случае, если $\frac{a}{b} < 0,1$ или $\frac{a}{b} > 10$, можно найти обратное комплексное число по приближенной формуле

$$z = a + jb; z^{-1} = (a + jb)^{-1} = \left(\frac{a}{b^2} - j \frac{1}{b} \right). \quad (1.1)$$

Если a и b не укладываются на номограмме, то нужно вынести из числа общий множитель вида 10^n , так чтобы после вынесения можно было отложить оставшееся число на графике. Результат следует разделить на вынесенный множитель.

1.5. ПЕРЕВОД ОТНОШЕНИЙ ЧИСЕЛ В ДЕЦИБЕЛЫ

Номограмма № 5 позволяет быстро пересчитывать отношения мощности или напряжения (тока) и коэффициента усиления или ослабления по напряжению в децибелы: $N \text{ дб} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$; $N \text{ дб} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$; $N \text{ дб} = 20 \lg K$ (здесь P_1, P_2 — мощности; U_1, U_2 — напряжения; $K = \frac{U_2}{U_1}$ — коэффициент усиления или ослабления по напряжению).

На крайних шкалах номограммы, в соответствии с нанесенными на ней обозначениями, откладываются соответствующие значения напряжений и мощностей. Отложенные точки соединяются прямой линией. Децибелы отсчитываются в месте пересечения ее со средней шкалой по делениям с правой стороны. Деления с левой стороны дают коэффициент усиления или ослабления $K = \frac{U_2}{U_1}$. Если значения напряжений или мощностей нельзя отложить на шкалах, то нужно сократить их на общий множитель. В случае, когда только одна из

величин не может быть отложена на соответствующей шкале, из этой величины выносят множитель вида 10^n и затем отмечают точки на шкалах. Результат в децибелах при этом необходимо изменить на величину, приведенную в табл. 1.1, коэффициент усиления умножить на вынесенный множитель.

Таблица 1.1

Добавочные коэффициенты при переводе чисел в децибелы

Если множитель равен	то к отношению мощностей, выраженному в децибелах, надо добавить величину (дб)	то к коэффициенту усиления или ослабления и к отношению напряжений, выраженных в децибелах, надо добавить величину (дб)
10	10	20
10^2	20	40
10^3	30	60
10^4	40	80
10^5	50	100
10^6	60	120
10^7	70	140
	и т. д.	

Пример.

Входное напряжение усилителя $U_1 = 8$ мв, выходное напряжение $U_2 = 60$ в = $60 \cdot 10^3$ мв. Определить коэффициент усиления и выразить его в децибелах. Откладываем на шкалах величины 8 и 60, получим коэффициент усиления $k = 7,5 \cdot 10^3 = 7500$ и N_1 дб из номограммы равно 17,3 дб и из табл. 1.1 для множителя 10^3 N_2 дб равно 60 дб. Таким образом, усиление в децибелах равно $17,3 + 60 = 77,3$ дб.

ГЛАВА ВТОРАЯ

ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОСХЕМ

НОМОГРАММА № 6

2.1. ЗАКОН ОМА И МОЩНОСТЬ

Сила тока I , протекающего по сопротивлению R , падение напряжения U на этом сопротивлении и мощность P , рассеиваемая на нем, связаны следующими формулами:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2.1)$$

$$P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}. \quad (2.2)$$

Номограмма № 6 по любым двум известным величинам позволяет определять две другие величины. Для этого известные величины откладываются на соответствующих шкалах и точки соединяются прямой линией. Пересечение этой прямой с двумя другими шкалами отсечет на них искомые величины. При этом сопротивление, сила тока и мощность берутся либо в омах, амперах и ваттах, либо в киловаттах, миллиамперах и милливаттах.

Пример.

Дано: $R = 1,2 \text{ ком}$, $U = 4,3 \text{ в}$

Ответ: $I = 3,6 \text{ ма}$, $P = 15,4 \text{ ввт}$.

НОМОГРАММА № 7

2.2. ИНДУКТИВНОСТЬ ОДНОСЛОЙНОЙ КАТУШКИ

Для определения индуктивности однослойной катушки со сплошной намоткой необходимо знать ее диаметр D , длину намотки l и количество витков N , размещенное на этой длине. Если ограничиться точностью 2—5%, то можно не учитывать влияние шага намотки на

индуктивность катушки. Номограмма построена по приближенной формуле, которая, однако, обеспечивает указанную точность, если длина катушки превышает ее диаметр не более, чем в 5—6 раз

$$L = \frac{0,01 \cdot D \cdot N^2}{\frac{l}{D} + 0,44} \quad (2.3)$$

Пользоваться номограммой нужно следующим образом. На шкале D откладывается величина диаметра катушки, а на шкале $\frac{l}{D}$ отношение длины намотки к диаметру. Эти точки соединяются прямой линией, которая пересечет вспомогательную ось в некоторой точке. На шкале N откладывается необходимое количество витков и через эту точку и точку, полученную на вспомогательной оси, проводится прямая, которая на шкале L отметит значение индуктивности катушки.

Пример.

Диаметр катушки равен 6 см, длина составляет 4 см. На этой длине намотано 210 витков. Найти индуктивность этой катушки. Вычисляем отношение $\frac{l}{D} = 0,667$, после чего на номограмме находим $L = 2400$ мкГн.

НОМОГРАММА № 8

2.3. СОБСТВЕННАЯ ЕМКОСТЬ ОДНОСЛОЙНОЙ КАТУШКИ

Номограмма построена по следующей формуле:

$$C_0 = \frac{\pi D}{3,6} \operatorname{ch} \frac{t}{d} \quad (2.4)$$

Здесь D — диаметр катушки, мм; t — шаг намотки, мм; d — диаметр провода намотки, мм; C_0 — собственная емкость катушки, мк.мкф.

Расчет по номограмме производится следующим образом. На шкалах D и $\frac{t}{d}$ откладываются значение диаметра намотки и отношение шага намотки к диаметру провода соответственно. Эти точки соединяются между собой прямой линией. В месте пересечения этой прямой со шкалой C_0 определяется значение собственной емкости катушки.

Следует иметь в виду, что при отношениях $\frac{t}{d} < 1,2$ существенно сказывается изоляция провода обмотки, увеличивающая собственную емкость против расчетной. Для катушек большого диаметра точно так же действует и материал каркаса, если каркас не ребристый.

Пример.

Определить собственную емкость катушки, если ее диаметр $D = 60$ мм, катушка намотана голым проводом диаметром $d = 2$ мм, шаг намотки $t = 3$ мм.

Ответ: $\frac{t}{d} = 1,5$; $C_0 = 5,4$ мк.мкф.

НОМОГРАММА № 9

2.4. РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНЫХ КАТУШЕК

Номограмма дает связь между размерами, индуктивностью и количеством витков многослойной катушки. Она построена по эмпирической формуле

$$L = \frac{0,08 \cdot D^2 N^2}{3D + 9b + 10c}, \quad (2.5)$$

где D — средний диаметр намотки, см; b — ширина катушки, см; c — толщина катушки, см; L — индуктивность катушки, мкГн.

Способ пользования номограммой поясним следующим примером. Определить индуктивность многослойной катушки, имеющей 500 витков плотной намотки и средний диаметр 25 мм. Ширина катушки равна 12,5 мм, толщина также составляет 12,5 мм.

Отложим на шкале, расположенной по оси абсцисс графика, значение диаметра катушки $D = 25$ мм, а на шкале b ширину катушки $b = 12,5$ мм. Проведем через эти точки прямую до пересечения ее с нижней вспомогательной осью. Через эту точку пересечения и точку $c = 12,5$ мм на шкале „Толщина катушки“ проведем прямую до пересечения ее с осью абсцисс графика (шкала *средний диаметр*). Из этой точки проведем на графике вертикальную линию до встречи ее с кривой. Из полученной точки на кривой проведем горизонтальную линию до пересечения ее с правым краем графика. Отложим на крайней вертикальной шкале справа значение диаметра катушки $D = 25$ мм. Проведем через эту точку и точку на правом крае графика прямую, которая пересечет вертикальную вспомогательную ось в некоторой точке. На шкале N отложим известное количество витков $N = 500$. Проведем через эту точку и точку на вертикальной вспомогательной оси прямую до пересечения ее со шкалой L , на которой и прочтем ответ $L = 4000$ мкГн.

2.5. РАСЧЕТ КАТУШЕК ПЛОТНОЙ НАМОТКИ

При конструировании трансформаторов, дросселей, катушек электромагнитов часто приходится решать задачу определения количества витков, длины провода и сопротивления обмотки постоянному току при сплошной намотке провода. Номограмма составлена по следующим известным формулам:

$$V = l_{\text{cp}} \cdot S_{\text{м}}, \quad (2.6)$$

$$l = \frac{V}{100} N_{\text{с}}, \quad (2.7)$$

$$N = S_{\text{м}} \cdot N_{\text{с}}, \quad (2.8)$$

$$R = R_{\text{в}} \cdot V, \quad (2.9)$$

а также по данным ОСТов на медные обмоточные провода различного диаметра с различной изоляцией. Эти данные * фигурируют на номограмме в виде графиков зависимостей

$$N_{\text{с}} = f(\Xi, d), \quad (2.10)$$

$$R_{\text{в}} = \varphi(\Xi, d). \quad (2.11)$$

Здесь N — количество витков провода при плотной намотке; l_{cp} — длина среднего витка обмотки, см ; $N_{\text{с}}$ — количество витков, приходящееся на единицу площади сечения обмотки, $\text{витки}/\text{см}^2$; $S_{\text{м}}$ — площадь поперечного сечения обмотки, см^2 ; l — длина провода, затраченного на обмотку, м ; V — объем обмотки, см^3 ; d — диаметр провода без изоляции, мм ; Ξ — марка провода (ПЭ, ПШО, ПШД, ПБД, ПБО); $R_{\text{в}}$ — сопротивление медного провода, отнесенное к единице объема обмотки, $\text{ом}/\text{см}^3$; R — сопротивление обмотки постоянному току, ом .

Правила пользования номограммой установим на следующем примере.

Пример.

Определить количество витков и длину провода, потребные для обмотки, которая должна иметь площадь поперечного сечения $S_{\text{м}} = 3 \text{ см}^2$. Длина среднего витка $l_{\text{cp}} = 12 \text{ см}$. Провод эмалированный, диаметром $d = 0,1 \text{ мм}$ (ПЭ-0,1). Определить, какое сопротивление постоянному току будет иметь готовая обмотка.

На левом графике выбираем кривую, помеченную ПЭ. На левой наклонной шкале графика находим точку $d = 0,1 \text{ мм}$ и проводим через нее наклонную линию до пересечения с кривой ПЭ. Из полученной точки проводим горизонтальную линию до пересечения с правой вертикальной шкалой графика, на которой отсчитываем коли-

* ОСТ 4123.

чество витков, приходящееся на 1 см^2 плотной намотки $N_S = 5700 \text{ витков/см}^2$. Откладываем на шкале S_m заданную величину и проводим через точки на шкалах N_S и S_m прямую. В месте пересечения ее со шкалой N отсчитываем число витков всей обмотки, $N = 17000$. Откладываем на шкале $l_{\text{ср}}$ заданную величину и проводим прямую через точки на шкалах $l_{\text{ср}}$ и N . На шкале l отсчитываем длину потребного для намотки провода, $l = 2000 \text{ м}$. Далее проводим через точки на шкалах $l_{\text{ср}}$ и S_m прямую до пересечения ее со шкалой V , на которой отсчитываем объем намотки $V = 36 \text{ см}^3$. Затем на правом графике отыскиваем кривую, соответствующую заданной марке провода ПЭ. Отмечаем на этой кривой точку, соответствующую диаметру провода $d = 0,1 \text{ мм}$. Из этой точки проводим горизонтальную прямую до встречи со шкалой R_V , на которой отсчитываем сопротивление обмотки, приходящееся на единицу ее объема, $R_V = 130 \text{ ом/см}^3$. Далее проводим прямую через точки на шкалах V и R_V , а на шкале R отсчитываем сопротивление обмотки $R = 4700 \text{ ом}$.

НОМОГРАММА № 11

2.6. ИНДУКТИВНОСТЬ КАТУШКИ СО СТАЛЬНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Номограмма для определения индуктивности катушки со стальным сердечником построена по известной формуле

$$L = \frac{0,4 \pi N^2 \cdot 10^{-8}}{\frac{L_{\text{ж}}}{\mu S}}, \quad (2.12)$$

где L — индуктивность катушки, гн ; N — количество витков катушки; $L_{\text{ж}}$ — средняя длина магнитного пути в стали, см ; S — поперечное сечение стального сердечника, см^2 ; μ — магнитная проницаемость стали.

Магнитная проницаемость стали сердечника зависит от сорта стали и от положения рабочей точки на магнитной характеристике — от значений постоянной и переменной слагающих тока через катушку. Для приближенных расчетов при весьма малых ампервитках и при средних сортах стали можно принимать значение начальной магнитной проницаемости равным $\mu = 450$. Для катушек, работающих со значительными переменными ампервитками на 1 см (не превышающими однако $0,5 \text{ а-вит/см}$), магнитную проницаемость можно подсчитывать по формуле

$$\mu = \left(0,45 + 2 \frac{I_m N}{L_{\text{ж}}} \right) 10^3, \quad (2.13)$$

где I_m — амплитуда переменной составляющей тока, а ; N — количество витков; $L_{\text{ж}}$ — длина среднего магнитного пути в стали, см .

Правила пользования номограммой следующие.

1. Соединяются прямой точки на шкалах L , N и R_m . При этом на шкалах L и N величины отсчитываются либо только со стороны A (слева), либо только со стороны B (справа). 2. Проводится прямая через точки на шкалах $I_{ж}$ и R_m . 3. Прямой линией соединяются точка пересечения предыдущей прямой со вспомогательной осью и точка на шкале μ . При этом вторая прямая пройдет через искомую точку на шкале S .

Пример.

Определить, какого сечения пакет стали Ш-20 необходим для получения индуктивности $L = 20 \text{ мГн}$ в дросселе с количеством витков $N = 8000$. Через дроссель идет постоянный ток, величине которого соответствует магнитная проницаемость $\mu = 110$. Для стали Ш-20 средняя длина $l_{cp} = 20 \text{ см}$.

Ответ: $S_{ж} = 4,5 \text{ см}^2$.

Данная номограмма, как и формула, справедлива только для величины постоянных ампервитков, не превышающих 5 а-вит/см , позволяющих применять сердечники без воздушных зазоров.

НОМОГРАММА № 12

2.7. ИНДУКТИВНОСТЬ ЭКРАНИРОВАННОЙ КАТУШКИ

Номограмма служит для определения величины индуктивности экранированной однослойной катушки по следующей полуэмпирической формуле:

$$L_э = L_0 \left[1 - \left(\frac{D_k}{D_э} \right)^3 \right] \left[1 - \left(\frac{l_k}{2l_э} \right)^2 \right]. \quad (2.14)$$

Правило пользования номограммой № 12 сводится к следующему.

На шкалах $\frac{D_k}{D_э}$ и $\frac{l_k}{l_э}$ откладываются соответствующие отношения.

Через эти отметки проводится прямая. Через точку пересечения этой прямой с вспомогательной осью и отметку на шкале L_0 , соответствующую индуктивности катушки без экрана, проводится вторая прямая до пересечения со шкалой $L_э$. На этой шкале отсекается значение индуктивности катушки в экране.

Номограмма дает достаточно точный результат и для многослойных катушек, длина которых в несколько раз превышает диаметр. В этом случае вместо D_k следует брать значение среднего диаметра катушки.

Пример.

Однослойная катушка без экрана имеет индуктивность $L = 200 \text{ мкГн}$, диаметр $D_k = 50 \text{ мм}$ и длину $l_k = 50 \text{ мм}$. Определить, какую индуктивность она будет иметь, если ее поместить в экран диаметром $D_s = 90 \text{ мм}$ и длиной $l_s = 110 \text{ мм}$, $\frac{D_k}{D_s} = 0,55$; $\frac{l_k}{l_s} = 0,45$. Номограмма дает значение, равное 160 мкГн . Коэффициент изменения индуктивности $\beta = 0,78$.

НОМОГРАММА № 13

2.8. РАСЧЕТ МАЛОМОЩНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Основными зависимостями для расчета маломощных силовых трансформаторов, питаемых от сети переменного тока частоты 50 Гц , являются: зависимость поперечного сечения стального сердечника $S_{ж}$ от мощности трансформатора P и связь количества витков, приходящихся на один вольт N_0 , с произведением магнитной индукции на площадь сечения стального сердечника

$$S_{ж} = 1,25 \sqrt{P}, \quad (2.15)$$

$$N_0 = \frac{4,5 \cdot 10^5}{BS} = \frac{3,6 \cdot 10^5}{B \sqrt{P}}. \quad (2.16)$$

Кроме того, количество витков и диаметр провода определяются следующим образом:

$$N = N_0 U, \quad (2.17)$$

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{I}{j}}. \quad (2.18)$$

Номограмма № 13 построена по этим формулам.

Порядок расчета следующий.

1. Подсчитывается общая мощность всех токонесущих обмоток трансформатора

$$P = \sum_{i=1}^n I_i U_i = I_1 U_1 + I_2 U_2 + \dots + I_n U_n. \quad (2.19)$$

На шкалах I и U откладываются заданные значения тока и напряжения. Каждый раз через полученные точки проводится прямая, в точке пересечения которой со шкалой P отсчитывается значение мощности обмотки. Затем все величины мощностей суммируются.

2. Определяется сечение сердечника $S_{ж}$. Для этого на номограмме используется двояная шкала $S_{ж}, P$.

3. Определяется число витков на вольт N_0 . Для этого через точку, соответствующую заданной величине индукции B в стали сердечника, на шкале B и точку на шкале P проводится прямая, которая отсекает на шкале N_0 искомую величину.

4. Определяется количество витков в каждой обмотке. Для этой цели проводится прямая через точку на шкале N_0 и точку на шкале U , соответствующую напряжению данной обмотки. Продолжение прямой отсечет на шкале N количество витков, необходимое для данной обмотки. (Для накальных обмоток найденное по номограмме количество увеличивают на 5—10%).

5. По заданному значению тока в каждой обмотке I и выбранной (допустимой) плотности тока j определяется диаметр провода d . Точки на шкалах I и j соединяются между собой прямой, которая отсечет на шкале d необходимое значение диаметра провода.

6. С помощью номограммы № 10 определяется количество витков, приходящееся на 1 см^2 плотной намотки N_s для данного диаметра при выбранной марке провода, и площадь сечения каждой обмотки трансформатора.

7. Выбирается стандартный тип штампа стали и подсчитывается площадь окна S_0 в соответствии с геометрическими размерами стали и каркаса катушки.

8. Находится сумма площадей сечения всех обмоток с учетом толщины прокладок

$$(S_{м})_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n (S_{м})_i. \quad (2.20)$$

При этом должно быть $\frac{S_{м}}{S_0} \leq 0,8$. Если это отношение будет превышать величину 0,8, то следует увеличить сечение стали и вновь произвести расчет по только что указанной схеме.

Примечание. Величины на шкалах d, I, U и N следует откладывать, пользуясь либо только делениями A , либо только делениями B .

Пример.

Рассчитать накальную обмотку трансформатора общей мощностью 300 вт . Ток через обмотку должен составлять $I = 1 \text{ а}$ при напряжении $U = 6,3 \text{ в}$. Допустимая плотность тока $j = 2 \text{ а/мм}^2$. Допустимая индукция в стали $B = 7000 \text{ гс}$. Применяя рассмотренный выше порядок расчета, находим с помощью номограммы: $S_{ж} = 22 \text{ см}^2$, $N_0 = 3 \text{ витка/в}$, $N = 20$ витков, $d = 0,8 \text{ мм}$, $P_1 = 6,3 \text{ вт}$.

2.9. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Номограмма № 14 составлена по формуле

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.21)$$

и позволяет определять величину сопротивления параллельного соединения двух сопротивлений. Эта же номограмма может быть использована для параллельного соединения индуктивностей или последовательного соединения емкостей.

Для расчета две известные величины соединяются прямой, пересечение которой с третьей шкалой дает искомую величину. Все три величины должны быть взяты в одних и тех же единицах.

Пример.

Дано: $R_1 = 10 \text{ ом}$; $R_2 = 15 \text{ ом}$.

Ответ: $R = 6 \text{ ом}$.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ
ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ

НОМОГРАММА № 15

3.1. РАСЧЕТ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ С ЕМКОСТНОЙ СВЯЗЬЮ МЕЖДУ КАСКАДАМИ

С помощью номограмм № 15 А, Б, В можно производить расчет усилителя низкой частоты на триоде с емкостной связью между каскадами, схема которого изображена на номограмме. Номограмма № 15 А, построенная по формуле

$$\frac{K_0}{\mu} = \frac{1}{1 + R_i \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_c} \right)}, \quad (3.1)$$

дает значение усиления каскада на средних частотах. Усиление выражено в процентах от коэффициента усиления лампы μ . Обозначения соответствуют изображенной на номограмме схеме. Для определения усиления на низких частотах служит номограмма № 15 Б, учитывающая роль емкости связи C_c . Эта номограмма соответствует формуле (3.2) и показывает уменьшение усиления в децибелах на частоте 50 *гц* по сравнению с усилением K_0 на средних частотах

$$\frac{K_n}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi 50 R_n C_c} \right)^2}}, \quad (3.2)$$

где

$$R_n = R_c + \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_i}}.$$

Чтобы найти уменьшение усиления на любой другой низкой частоте, в номограмму надо подставить значение емкости C_c , умно-

женной на $\frac{f_n}{50}$, где f_n — заданная частота. Если надо определить емкость связи При известных величинах сопротивлений R_i , R_a и R_c и заданном уменьшении усиления $\frac{K_n}{K_0}$ на частоте f_n (отличной от 50 гц), то надо значение емкости, полученное из номограммы, умножить на $\frac{50}{f_n}$.

С помощью номограммы № 15 В, построенной по формуле

$$\frac{K_n}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi \cdot 10^4 C_{ш} R_B)^2}}, \quad (3.3)$$

где

$$R_B = \frac{R_a R_c R_i}{R_a R_c + R_a R_i + R_c R_i},$$

можно определить уменьшение усиления в децибелах на частоте 10 000 гц по отношению к усилению K_0 на средних частотах. $C_{ш}$ — общая шунтирующая емкость, равная

$$C_{ш} = C_{ca_1} + C_{ак_1} + C_{ск_2} + C_{ca_2} [1 + K_{B_2}]. \quad (3.4)$$

Здесь K_{B_2} — коэффициент усиления последующего каскада на высоких частотах, а емкости показаны на схеме. Так же, как для низких частот, эта номограмма позволяет находить уменьшение усиления на любой другой высокой частоте, отличной от 10 000 гц. Для этого в номограмму следует подставить значение емкости, равное $C_{ш} \frac{f_B}{10\,000}$, где f_B — заданная высокая частота, на которой нужно найти усиление.

При расчете усилителя низкой частоты можно руководствоваться следующими указаниями.

1. Выбрать лампу, коэффициент усиления μ которой превышает заданное усиление каскада на средней частоте не менее, чем на 30 ÷ 40%. Установить режим лампы.

2. Выбрать сеточное сопротивление следующего каскада максимально допустимой для этого каскада величины.

3. Определить отношение требуемого коэффициента усиления каскада K_0 к коэффициенту усиления лампы μ . Отложить значение этого отношения на вертикальной правой оси номограммы № 15 А и провести горизонтальную линию от этой отметки до кривой *коэффициент усиления* $\frac{K_0}{\mu}$. От точки пересечения опустить вертикаль до пересечения с наклонной прямой, соответствующей внутреннему сопротивлению R_i выбранной лампы (точка Б на номограмме).

От этой точки провести горизонталь до пересечения с кривой, соответствующей выбранной величине сопротивления утечки сетки R_c последующего каскада (точка A). На горизонтальной оси под точкой A прочесть значение анодной нагрузки R_a , необходимой для получения требуемого усиления.

4. Определить уменьшение усиления $\frac{K_B}{K_0}$ на верхней частоте полосы пропускания посредством номограммы № 15 В. Если это отношение будет слишком большим, нужно уменьшить величину R_a и пойти на уменьшение коэффициента усиления каскада, либо выбрать лампу, дающую большее усиление.

5. Из номограммы № 15 Б найти величину переходной емкости C_c , которая обеспечила бы нужное усиление на низких частотах.

6. Аналогично рассчитать последующие каскады усилителя. Правила пользования поясним на примере.

Пример.

Для получения усиления на средних частотах $K_0 = 60$ и уменьшения усиления на краях полосы пропускания, не превышающего $0,3$ дб, выбрана лампа, имеющая $\mu = 100$ и $R_i = 75\,000$ ом. Полоса пропускания от $f_n = 50$ гц до $f_v = 10\,000$ гц, $C_{ш} = 85$ мкмкф. Значение сопротивления утечки сетки предыдущего каскада $R_c = 0,5$ мгом. На номограмме № 15А из точки $\frac{K_0}{\mu} = \frac{60}{100} = 60\%$ на оси ординат графика проводим вертикальную линию до встречи ее с кривой K_0/μ . Из полученной точки A проведем вертикальную прямую до встречи ее с прямой, проведенной в наклонном семействе прямых и соответствующей $R_i = 75\,000$ ом. Получим точку B . Из этой точки проведем горизонтальную прямую до встречи ее с кривой из семейства R_c , соответствующей $R_c = 0,5$ мгом. На оси (абсцисс) отсчитаем значение анодной нагрузки R_a , равное 200 ком. По номограмме № 15Б ищем величину емкости связи, дающую уменьшение усиления на низких частотах на $0,3$ дб. Для этого из точки $R_i = 75\,000$ на оси абсцисс проведем вертикальную линию до встречи с кривой $200\,000$ ом семейства R_a (точка B). Из полученной точки проводим горизонтальную линию до встречи с кривой $500\,000$ ом семейства R_c . Получим точку Γ , из которой проведем вертикальную линию до встречи ее с наклонной линией $0,3$ дб семейства $\frac{K_n}{K_0}$. Полученной точке соответствует величина емкости связи, равная $C_c = 0,02$ мкф.

Чтобы определить уменьшение усиления на частоте $10\,000$ гц, пользуемся номограммой № 15В. Из точки $R_i = 75\,000$ ом на оси абсцисс проведем вертикальную прямую до встречи ее с кривой $200\,000$ ом семейства R_a (точка D). Затем проведем горизонтальную прямую до встречи ее с кривой $0,5$ мгом семейства R_c (точка

Е). Из точки E проведем вертикальную прямую до встречи ее с горизонтальной линией, проведенной через точку $C_{ш} = 85$ мкмкдб на шкале $C_{ш}$. Полученная точка лежит на наклонной прямой, соответствующей уменьшению усиления на 0,3 дб, что не превышает заданной величины.

НОМОГРАММЫ №№ 16 и 17

3.2. УСИЛИТЕЛИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ И КАТОДНЫЕ ПОВТОРИТЕЛИ

С помощью двух номограмм №№ 16 и 17 можно рассчитывать усилители с обратной связью, катодные повторители, фазорасщепительные каскады и т. п. Кроме того, можно вести расчет и обычных усилителей без обратной связи с нагрузкой в анодной цепи. Номограммы дают значения коэффициента усиления и максимального допустимого сигнала на входе усилителя для случаев $K > E_a/E_{ск}$, а также величину выходного сигнала, соответствующую заданной величине входного сигнала.

Номограммы построены по формулам

$$A = 1 + \frac{R_n}{R_i}, \quad (3.5)$$

$$K = \frac{SR_n}{A} = \frac{SR_n}{1 + \frac{R_n}{R_i}}, \quad (3.6)$$

$$B_1 = \left(S + \frac{1}{R_i} \right) R_k, \quad (3.7)$$

$$B_2 = \frac{R_n}{R_i}, \quad (3.8)$$

$$A = 1 + B_1 + B_2, \quad (3.9)$$

$$U_m = \frac{E_{ск}}{1 + K}. \quad (3.10)$$

В этих формулах R_i — внутреннее сопротивление лампы, *ком*; K — коэффициент усиления; S — крутизна лампы, *ма/в*; R_n — сопротивление нагрузки, *ом**; B_1 и B_2 — вспомогательные коэффициенты;

* Входное сопротивление следующего каскада влияет на величину усиления. Поэтому сопротивление нагрузки R_n должно быть взято с учетом входного сопротивления следующего каскада:

$$R_n' = \frac{R_n \cdot R_{вх}}{R_n + R_{вх}}.$$

Для расчета может быть использована номограмма № 14.

U_m — напряжение раскачки лампы, v ; $E_{ск}$ — напряжение смещения, v ; $U_{вых}$ — выходное напряжение каскада, v . На примере расчета усилителей различных типов поясним применение номограмм.

А. Расчет коэффициента усиления усилителя с анодной нагрузкой

Определить коэффициент усиления каскада с анодной нагрузкой R_n на лампе с известными величинами S и R_i . Коэффициент усиления каскада можно рассчитать с помощью номограммы № 16. На шкалах 1 и 3 номограммы откладываются известные величины R_i и R_n и точки соединяются прямой. На шкале 2 номограммы отсчитывается значение *множителя нагрузки* — A . Далее это значение переносится на шкалу 4, а величина R_n откладывается на шкале 5. Отметки на шкалах 4 и 5 соединяются прямой линией до пересечения ее со вспомогательной осью. На шкале 7 откладывается величина S и проводится прямая через эту точку и точку, полученную на вспомогательной оси. Прямая пересечет шкалу 6 в точке, соответствующей значению коэффициента усиления K .

Пример 1.

Найти усиление усилителя, если $R_n = 8000 \text{ ом}$, $R_i = 10\,000 \text{ ом}$ и $S = 1,9 \text{ ма/в}$. Номограмма дает $A = 1,8$ и $K = 8,45$.

Б. Расчет усилителя с обратной связью

Для усилителя с обратной связью, осуществляемой через сопротивление в катодной цепи, существует формула для коэффициента усиления

$$K = \frac{SR_n}{1 + \left(S + \frac{1}{R_i}\right)R_k + \frac{R_n}{R_i}}. \quad (3.11)$$

В этой формуле обозначения такие же, как в формулах (3.5)—(3.10), а R_k — сопротивление обратной связи в цепи катода, $ом$. Сначала

определяется множитель нагрузки $A = 1 + \left(S + \frac{1}{R_i}\right)R_k + \frac{R_n}{R_i}$. Для этого

определяются произведения $B_1 = \left(S + \frac{1}{R_i}\right)R_k$ и $B_2 = \frac{R_n}{R_i}$. На шка-

ле 1 номограммы № 17 откладывается сумма $\left(S + \frac{1}{R_i}\right)$ и соединяется прямой со значением R_k на шкале 3. На шкале 2 отсчитывается

величина R_i . Для отыскания второго произведения $B_2 = \frac{R_n}{R_i}$ на шка-

ле 1 откладывается значение $\frac{1}{R_i}$, а на шкале 3 — величина R_n . Проводится прямая через эти точки, на шкале 2 определяется второе произведение B_2 . Далее по формуле (3.9) определяется величина A ,

Затем так же, как было показано в предыдущем примере, посредством номограммы № 16 определяется коэффициент усиления K каскада с обратной связью.

Пример 2.

Рассчитать усилитель с обратной связью, если $S=9$ ма/в; $R_i=10^5$ ом; $R_k=500$ ом; $R_n=1000$ ом. Номограмма № 17 дает нам $B_1=4,5$ и $B_2=0,01$. Откуда $A=5,5$. Затем из номограммы № 16 имеем для этой величины A и заданного R_n величину усиления усилителя $K=1,7$.

В. Расчет катодного повторителя

Этот расчет подобен только что описанному для усилителя с обратной связью, с той лишь разницей, что величину второго коэффициента B_2 берут равной нулю, так как формула для коэффициента усиления катодного повторителя имеет следующее выражение:

$$K = \frac{SR}{1 + \left(S + \frac{1}{R_i}\right)R}, \quad (3.12)$$

а вместо R_n берется R_k .

Пример 3.

Найти коэффициент усиления катодного повторителя на лампе 6Ф6 с сопротивлением в катодной цепи, равным $R_k=2000$ ом. Для этой лампы $S=2,25$ ма/в и $R_i=8000$ ом. Номограмма № 17 дает $B_1=4,75$ и $A=5,75$. Из номограммы № 16 получаем $K=0,8$.

Г. Расчет максимальной величины допустимого сигнала

В случае усилителя с обратной связью расчет максимального допустимого сигнала ведется с помощью номограммы № 17. Для этого сначала, как в случае катодного повторителя, уже описанным способом определяется катодное усиление схемы, считая при этом за нагрузку катодное сопротивление. Эта величина катодного усиления K откладывается на шкале 4 номограммы № 17. На шкале 5 откладывается величина сеточного смещения лампы. Через эти точки проводится прямая линия и на шкале 6 в месте ее пересечения прямой определяется значение допустимой сеточной раскочки (допустимое переменное напряжение на сетке) U_m^* .

* Для точного определения максимального допустимого напряжения на сетке при коэффициенте усиления, близком к единице, требуется, чтобы коэффициент усиления был известен с несравнимо большей точностью, чем это дает номограмма № 16. Поэтому данными номограммы № 16 можно пользоваться лишь для $K \leq 0,9$, что в громадном большинстве случаев имеет место.

Пример 4.

Катодный повторитель имеет коэффициент усиления $K = 0,92$. Смещение равно $E_{ск} = -0,5$ в. Найти допустимую амплитуду сигнала на сетке катодного повторителя. Номограмма № 17 дает 6,25 в.

Эти номограммы дают особенно заметное облегчение расчетов и сокращение времени вычислений в случае, если нужно повторять расчет для многих точек нагрузочной характеристики, например, для получения амплитудных характеристик или при расчете коэффициента искажений.

НОМОГРАММА № 18

3.3. ВЫХОДНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ КАТОДНОГО ПОВТОРИТЕЛЯ

Зависимость выходного сопротивления катодного повторителя от параметров лампы и величины катодного сопротивления выражается формулой, по которой построена левая часть номограммы № 18.

$$Z_{\text{вых}} = \frac{R_k}{1 + SR_k}. \quad (3.13)$$

Здесь S — крутизна лампы, $ма/в$; R_k — катодная нагрузка, $ом$; $Z_{\text{вых}}$ — выходное сопротивление катодного повторителя, $ом$. Для нахождения $Z_{\text{вых}}$ величина S откладывается на шкале 3 номограммы, а значение R_k — на шкале 1. Точки соединяются прямой линией. На шкале $Z_{\text{вых}}$ (шкала 2) находится ответ.

Пример 1.

Катодный повторитель на лампе с крутизной $S = 7$ $ма/в$ имеет катодное сопротивление, равное $R_k = 200$ $ом$. Найти его выходное сопротивление. Номограмма дает величину $Z_{\text{вых}} = 83,5$ $ом$.

Зная $Z_{\text{вых}}$ и величину емкости C_k , шунтирующей катодное сопротивление R_k , можно найти полосу пропускания катодного повторителя Δf , измеренную на уровне 3 $дб$ по формуле

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi C_k Z_{\text{вых}}}. \quad (3.14)$$

По этой формуле построена правая часть номограммы № 18. Величины C_k и $Z_{\text{вых}}$ откладываются на шкалах 4 и 6 соответственно, а на шкале 5 отсчитывается полоса пропускания катодного повторителя Δf .

Пример 2.

$Z_{\text{вых}} = 83,5$ $ом$, $C_k = 200$ $мккф$. Находим $\Delta f = 9,5$ $мгц$.

3.4. РАСЧЕТ КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ДРОССЕЛЯ В ВИДЕОУСИЛИТЕЛЕ

Номограмма дает значение сопротивления нагрузки и величину корректирующего дросселя в видеоусилительном каскаде, если задана верхняя предельная частота полосы пропускания и общая шунтирующая емкость каскада. Номограмма построена по известным формулам, в которые введены эмпирические числовые коэффициенты так, что в окончательном виде формулы имеют выражение

$$R_a = 0,85 \frac{1}{2\pi f_v C_{ш}}, \quad (3.15)$$

$$L_a = 0,415 C_{ш} R_a^2. \quad (3.16)$$

Здесь R_a — сопротивление нагрузки каскада; L_a — индуктивность корректирующего дросселя; f_v — верхняя предельная частота видеоусилителя, т. е. такая частота полосы пропускания, где усиление по напряжению падает на 3 дБ; $C_{ш}$ — суммарная шунтирующая емкость каскада. Она состоит из входной емкости последующего каскада, выходной емкости данного каскада и емкости монтажа.

Пример.

Рассчитать нагрузочное сопротивление и корректирующий дроссель для видеокаскада, имеющего $C_{ш} = 35$ мкмкф и предельную частоту $f_v = 3$ мГц. Для этого величину емкости отложим на шкале $C_{ш}$, а частоту на шкале f_v . Через эти точки проведем прямую, которая на шкалах R_a и L_a отсечет искомые величины: $R_a = 1280$ ом и $L_a = 24$ мкГн.

3.5. РАСЧЕТ ЦЕПИ СВЯЗИ В ВИДЕОУСИЛИТЕЛЕ

При прохождении прямоугольного импульса через видеоусилитель с реостатно-емкостной связью его плоская вершина становится наклонной, и появляется отрицательный „хвост“, если характеристика усилителя имеет завал в низкочастотной области, т. е. постоянная времени цепи связи мала. С помощью номограммы № 20 можно определять величину постоянной времени цепи связи в зависимости от длительности импульса и от допустимой величины наклона плоской части импульса, заданной в процентах от амплитуды импульса, одаваемого на цепь связи. Кроме того, можно определять f_n — минимальную частоту низкочастотной области характеристики, на которой завал составляет 3 дБ.

Номограмма построена по формулам

$$RC = \frac{\tau}{\ln \frac{1}{1-k}}, \quad (3.17)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (3.18)$$

Здесь k — спадание вершины импульса к концу импульса по отношению к амплитуде импульса; τ — длительность импульса, *сек*; R — сопротивление утечки сетки каскада, *ом*; C — емкость переходного конденсатора, ϕ . Для определения RC на крайних шкалах номограммы откладываются величины k и τ . Отметки соединяются прямой. В месте пересечения ее со средней шкалой определяются значения RC и f_n .

Пример.

Для того чтобы прямоугольные колебания частоты 50 *гц* (длительность импульса $\tau = 10\,000$ *мксек*) имели максимальный завал плоской части импульса $k = 2\%$, надо, чтобы постоянная времени переходной цепи равнялась $RC = 0,47 \times 10^6$ *ом* \times *мксек* при этом $f_n = 0,35$ *гц*.

НОМОГРАММЫ №№ 21, 22, 23, 24

3.6. РАСЧЕТ МНОГОКАСКАДНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Номограммы №№ 21, 22 и 23 позволяют рассчитывать коэффициент усиления и определять необходимое число каскадов усилителя промежуточной частоты. Эти номограммы построены по формуле

$$K = m \cdot n \cdot 20 \lg \left[\frac{\delta}{2\pi} \sqrt[n]{\frac{2m}{\sqrt{2}-1}} \right], \quad (3.19)$$

где

$$\delta = \frac{S}{\Delta f \cdot C_{\text{общ}}}.$$

Здесь n — количество контуров усилителя, настроенных на одну частоту (число групп каскадов); m — число различных частот настройки (число элементов в группе); Δf — общая полоса пропускания всего усилителя; $C_{\text{общ}}$ — общая емкость каждого каскада; она складывается из емкостей лампы, монтажа и контура, S — крутизна характеристики лампы.

Формула (3.19) представлена тремя номограммами. Номограмма № 21 позволяет определить коэффициент усиления усилителя с каскадами, настроенными на одну частоту ($m = 1$). Номограмма № 22 соответствует усилителю с расстроенными парами контуров ($m = 2$). Номограмма № 23 представляет собой график для расчета усилителя с расстроенными тройками контуров ($m = 3$). С помощью номограмм можно определять коэффициент усиления этих типов усилителей, если заданы Δf , S , $C_{\text{общ}}$, m и n . Можно решать и обратные задачи.

Рассмотрим следующий пример. Необходимо построить усилитель промежуточной частоты с усилением не менее 80 дБ и с полосой пропускания 10 мГц. Для усилителя предназначаются лампы с крутизной $S = 5 \text{ ма/в}$ при общей емкости каждого каскада $C_{\text{общ}} = 14 \text{ мкмкф}$. Усилитель должен иметь наименьшее возможное количество ламп.

Отложим на шкалах величины S , $C_{\text{общ}}$ и Δf . Соединим между собой точки на шкалах S и $C_{\text{общ}}$ прямой линией. Проведем через точку пересечения этой прямой со вспомогательной осью и через точку на шкале Δf прямую, которая отсечет на шкале значение $\delta = 36$. Далее, с помощью графиков каждой номограммы найдем, что при полученном значении параметра $\delta = 22$ заданное значение коэффициента усиления $K \geq 80 \text{ дБ}$ может быть достигнуто при следующих значениях n :

для схемы с расстроенными тройками каскадов ($m = 3$) из номограммы № 23 при $n = 2$ получается $K = 82,5 \text{ дБ}$;

для схемы с расстроенными парами каскадов ($m = 2$) из номограммы № 22 при $n = 2$ получается $K = 130 \text{ дБ}$.

Для схемы с одиночными настроенными на одну частоту каскадами ($m = 1$ номограмма № 21) заданную величину усиления невозможно получить вообще. Таким образом, коэффициент усиления $K \geq 80 \text{ дБ}$ можно получить при наименьшем количестве ламп, если применить 2 группы каскадов, состоящих из расстроенных пар контуров. В этом случае количество ламп равно $N = m \cdot n = 2 \times 2 = 4$.

Затем определяется полоса пропускания Δf отдельных групп контуров по заданной общей полосе пропускания по формуле

$$\Delta f = \frac{\Delta f_{\text{общ}}}{\gamma}, \quad (3.20)$$

где γ — так называемый коэффициент уменьшения полосы пропускания определяется по графику рис. 1 по значениям m и n ; Δf есть общая полоса пропускания группы контуров, образующих пару или тройку, или полоса пропускания одного контура при настройке на одну частоту. Далее, зная Δf и среднюю частоту полосы пропускания, определяют полосу пропускания каждого контура и частоты настройки f_1 , f_2 , f_3 по следующим формулам:

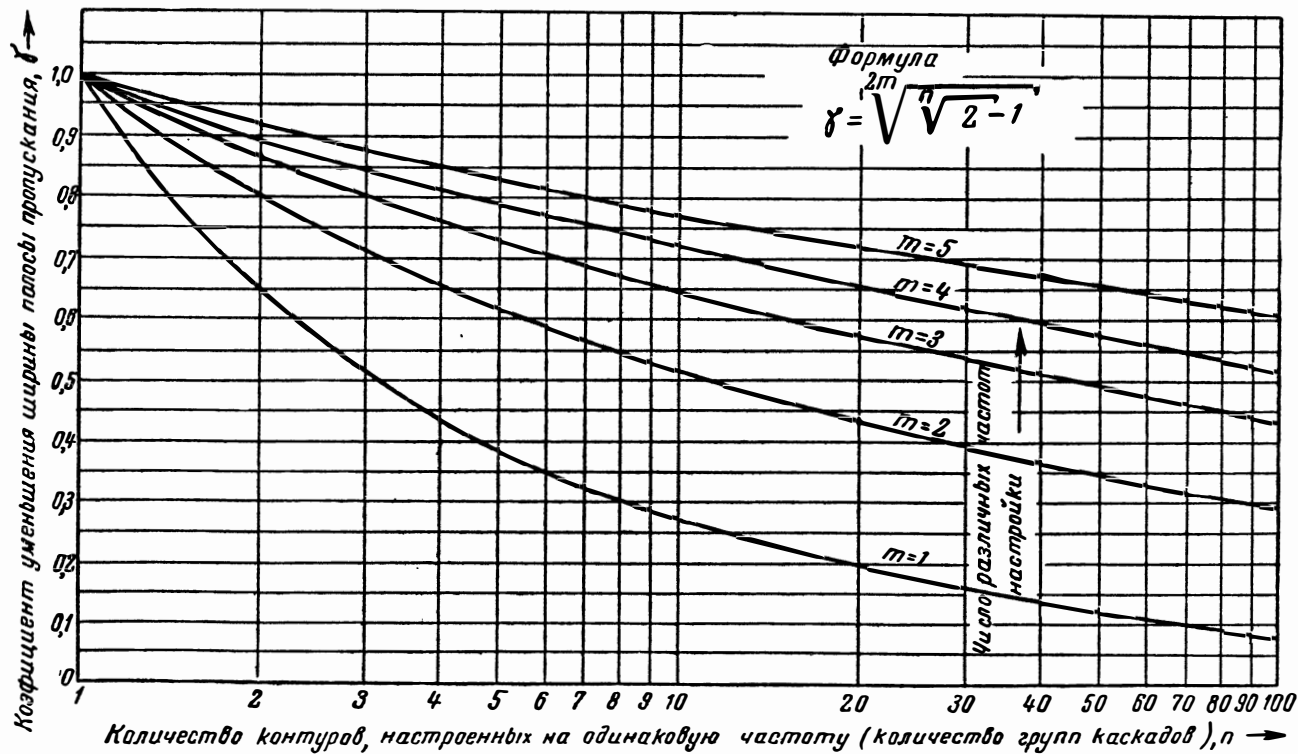


Рис. 1. Коэффициент уменьшения полосы пропускания для многоконтурного усилителя.

для пары расстроенных контуров ($m = 2$)

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{f_0}{\alpha} \\ f_2 &= f_0 \alpha \end{aligned} \right\} \quad (3.21)$$

и

$$\left. \begin{aligned} \Delta f_1 &= f_1 d \\ \Delta f_2 &= f_2 d \end{aligned} \right\}; \quad (3.22)$$

для тройки расстроенных контуров ($m = 3$)

$$\left. \begin{aligned} f_1 &= \frac{f_0}{\alpha} \\ f_2 &= f_0 \alpha \\ f_3 &= f_0 \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

и

$$\left. \begin{aligned} \Delta f_1 &= f_1 d \\ \Delta f_2 &= f_2 d \\ \Delta f_3 &= \Delta f = \frac{\Delta f_{\text{общ}}}{\gamma} \end{aligned} \right\}. \quad (3.24)$$

Здесь α и d коэффициенты, зависящие от отношения ширины полосы пропускания группы расстроенных контуров Δf к средней частоте этой полосы пропускания f_0 . Эти коэффициенты связаны следующими уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} \text{пара контуров} \quad & \left(\alpha - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{4 - \delta^2 - \sqrt{16 + \delta^4}}{2} = 0 \\ \text{тройка контуров} \quad & \left(\alpha - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{4 - \delta^2 - \sqrt{16 + 4\delta^2 + \delta^4}}{2} = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (3.25)$$

где $\delta = \frac{\Delta f}{f_0}$.

Сначала вычисляют δ , а затем из графиков рис. 2 находят значения α и d . Эти графики построены по уравнениям (3.25). Отношение $\delta = \frac{\Delta f}{f_0}$ можно определять по номограмме № 24.

Такой расчет полос пропускания и частот настройки каскадов справедлив для случая, когда усилитель имеет *плоскую частотную характеристику*, т. е. когда для группы, состоящей из n расстроенных каскадов, кривая избирательности выражается следующим уравнением:

$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + x^{2n}}}, \quad (3.26)$$

где x — расстройка. Полоса измеряется на уровне 3 дб.

После того, как найдены частоты настройки и полосы пропускания каждого каскада, определяют из номограммы № 24 нагрузочны

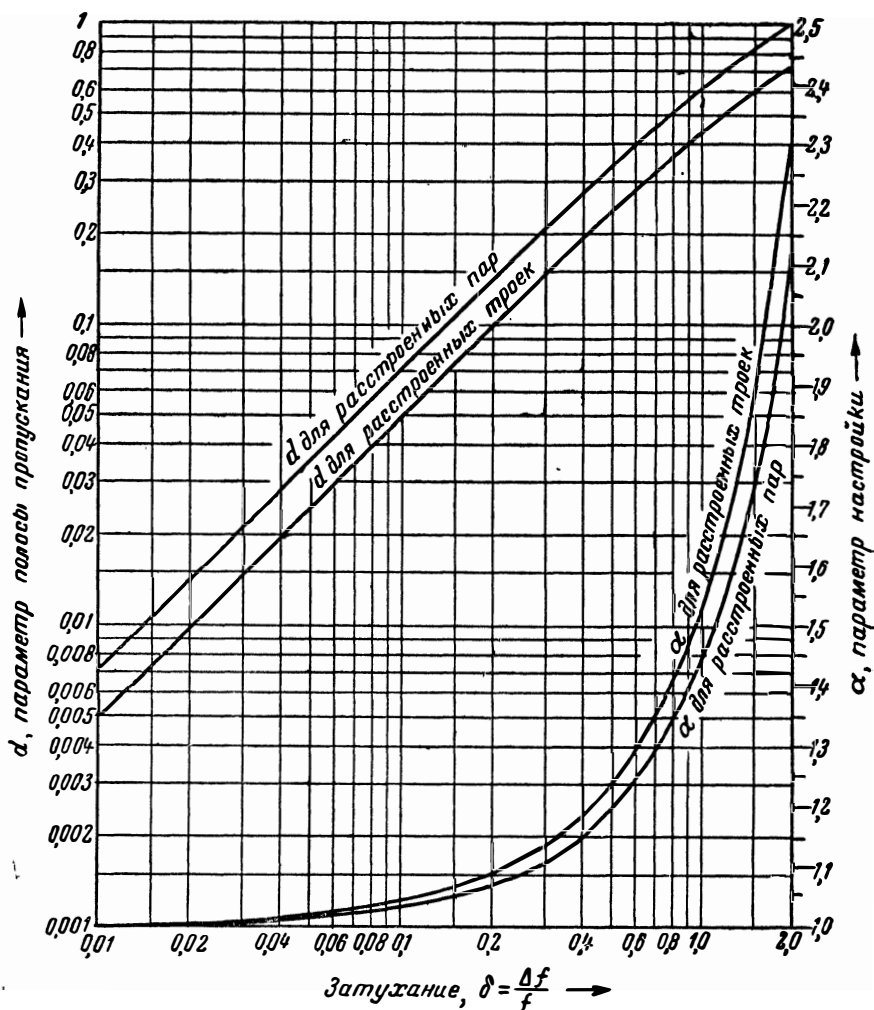


Рис. 2. Функции $d = f(\delta, m)$ и $\alpha = \varphi(\delta, m)$.

сопротивления отдельных контуров R_H . Номограмма построена по формулам

$$\delta = \frac{1}{Q} = \frac{\Delta f}{f}, \quad (3.27)$$

$$K = S \cdot R_H, \quad (3.28)$$

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi R_H C_{\text{общ}}}. \quad (3.29)$$

Нагрузку R_n находят по известным величинам Δf и $C_{\text{общ}}$, которые откладывают на соответствующих шкалах. Через отметки проводят прямую, которая на шкале R_n отсечет искомую величину. Для определения K откладывают на шкалах S и R_n известные величины, а на шкале K отсчитывают усиление. Для определения δ или Q откладывают на шкалах Δf и f_0 заданные величины, проводят через отмеченные точки прямую и на двоянной шкале δ , Q читают ответ.

Пример.

Рассчитать сопротивление нагрузки усилителя с одиночным контуром, настроенным на частоту $f_0 = 24,3$ мГц. $C_{\text{общ}} = 25$ мкмкф. Усилитель должен иметь полосу $\Delta f = 21$ мГц. Найти также усиление этого каскада и затухание контура δ , если $S = 5$ ма/в.

Ответ: $R_n = 300$ ом; $\delta = 0,9$ ($Q = 1,11$); $K = 3,5$ дб.

НОМОГРАММА № 25

3.7. СОПРЯЖЕНИЕ КОНТУРОВ В СУПЕРГЕТЕРОДИНЕ

Для определения величины сопрягающих конденсаторов в контурах приемника с одноручечным управлением служит номограмма № 25. Она построена по формулам (3.30) и (3.31) для схемы гетеродинного контура, изображенной на номограмме. Когда последовательная емкость C_2 расположена между конденсаторами C_1 и C_m , номограмма дает достаточно хорошую точность, если $C_2 > C_m$.

Если сопряжение точно выполняется на трех частотах диапазона $f_{\text{макс}}$, $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{ср}}$, причем $f_{\text{ср}} = \sqrt{f_{\text{мин}} \cdot f_{\text{макс}}}$, то для схемы, показанной на номограмме, справедливы следующие соотношения:

$$\frac{C_2}{C_m} = \frac{(A - XB)}{\frac{(A - B)^2}{(1 - X)AB} - (A - B)}, \quad (3.30)$$

$$\frac{C_1}{C_m} = \frac{(A - XB)}{(B - A)} - \frac{C_2}{C_m}; \quad (3.31)$$

здесь

$$A = \frac{(f_{\text{макс}}^2 - f_{\text{мин}}^2) + 2f_{\text{пр}}(f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}})}{(f_{\text{мин}} + f_{\text{пр}})^2}; \quad B = \left[\frac{(f_{\text{макс}} + f_{\text{пр}})^2}{(\sqrt{f_{\text{макс}} \cdot f_{\text{мин}} + f_{\text{пр}}})^2} - 1 \right] \times \\ \times \frac{f_{\text{мин}}}{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}; \quad X = \frac{f_{\text{мин}}}{f_{\text{макс}} + f_{\text{мин}}}.$$

Для определения C_1 и C_2 необходимо найти отношения $K = \frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}}$ и $N = \frac{f_{\text{пр}}}{f_{\text{макс}}}$. На левой шкале откладывается K . Максимальное зна-

чение емкости C_m (соответствующее минимальной частоте диапазона откладывается на соответствующей шкале и соединяется прямой линией с точкой на шкале K . В месте пересечения этой прямой с шкалой C_1 определяется значение C_1 . Затем значение N откладывается на соответствующей шкале. Через эту отметку и через заданную отметку K на второй справа оси проводится прямая до пересечения с вспомогательной осью. Прямая, соединяющая эту точку пересечения с отметкой C_m , отсчет на оси C_2 искомую величину

Пример.

Найти величины сопрягающих конденсаторов в приемнике, работающем на частотах от 1,07 до 1,6 мггц. Промежуточная частота равна 320 кгц. Значение емкости, соответствующее частоте 1,07 мггц равно 450 мкмкф. Таким образом, в нашем случае $C_m = 450$ мкмкф

$K = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{1,6}{1,07} = 1,5$; $N = \frac{f_{\text{пр}}}{f_{\max}} = \frac{0,32}{1,6} = 0,2$. Из номограммы определяем величины $C_1 = 390$ мкмкф и $C_2 = 3\,300$ мкмкф.

Подстроечный конденсатор входного контура можно с достаточно точностью брать равным C_1 . Зная величины конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 можно определить величины индуктивностей схемы по обычным формулам

$$L_{\text{вх}} = \frac{1}{4\pi^2 f_{\min}^2 \cdot C_{\text{в1}}}; \quad C_{\text{в1}} = C_m + C_1$$

и

$$L_{\text{г}} = \frac{1}{4\pi^2 f_{\text{г}}^2 \cdot C_{\text{в2}}}; \quad C_{\text{в2}} = \frac{C_2(C_1 + C_m)}{C_2 + C_1 + C_m}; \quad f_{\text{г}} = f_{\min} + f_{\text{пр}}$$

При этом можно пользоваться номограммами №№ 32 и 33.

3.8. КОМБИНАЦИОННЫЕ ЧАСТОТЫ В СМЕСИТЕЛЕ

При смещении двух частот A и B наряду с суммарной ($B + A$) и разностной ($B - A$) частотами получаются также и различные комбинационные частоты. Если отношение частот $\frac{A}{B}$, причем $A < B$, можно представить отношением целых чисел k и l , то две из этих комбинационных частот совпадут (дадут нулевые биения). Если выделяется суммарная частота ($A + B$), то такие частоты имеют величины $[(l + 1)A - (k - 1)B]$ и $[(k + 1)B - (l - 1)A]$. Если выделяется разностная частота ($B - A$), то соответствующие комбинационные частоты будут иметь вид $[(l - 1)A - (k - 1)B]$ и $[(k + 1)B - (l + 1)A]$. В табл. 3.1 и 3.2 приведены значения таких частот в зависимости от отношения смешиваемых частот, дающего нулевые биения с выделяемой частотой, для случаев выделения суммарной ($B + A$) и разностной ($B - A$) частот. Если заданного отношения частот A/B в таблице нет, то следует искать частоты для величины A/B , ближайшей к заданной.

Таблица 3.1

Комбинационные частоты в смесителе
Выделяется суммарная частота ($B+A$)

Сборник номограмм.

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,000	B	$B-A$	$B \pm 2A$	$B \pm 3A$	$B \pm 4A$	$B \pm 5A$	$B \pm 6A$	$B \pm 7A$	$B \pm 8A$	$B \pm 9A$	$B \pm 10A$	$B \pm 11A$	$B \pm 12A$	$B \pm 13A$	$B \pm 14A$
0,072															$2B-13A$ $15A$
0,077														$2B-12A$ $14A$	
0,083													$2B-11A$ $13A$		
0,091												$2B-10A$ $12A$			
0,100											$2B-9A$ $11A$				
0,111										$2B-8A$ $10A$					
0,125									$2B-7A$ $9A$						
0,143								$2B-6A$ $8A$							
0,154															$3B-12A$ $14A-B$
0,167							$2B-5A$ $7A$							$3B-11A$ $13A-B$	

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,182													3B-10A 12A-B		
0,200						2B-4A 6A							3B-9A 11A-B		
0,222												3B-8A 10A-B			
0,250					2B-3A 5A					3B-7A 9A-B					4B-11A 13A-2B
0,273														4B-10A 12A-2B	
0,286									3B-6A 8A-B						
0,300													4B-9A 11A-2B		
0,333				2B-2A 4A				3B-5A 7A-B					4B-8A 10A-2B		
0,364															5B-10A 12A-3B
0,375											4B-7A 9A-2B				
0,400							3B-4A 6A-B							5B-9A 11A-3B	
0,429										4B-6A 8A-2B					
													5B-8A 10A-3B		

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,500			2B—A 3A			3B—3A 5A—B			4B—5A 7A—2B			5B—7A 9A—3B			6B—9A 11A—4B
0,555														6B—8A 10A—4B	
0,571											5B—6A 8A—3B				
0,600							4B—4A 6A—2B								
0,625													6B—7A 9A—4B		
0,667					3B—2A 4A—B					5B—5A 7A—3B					7B—8A 10A—4B
0,715												6B—6A 8A—4B			
0,750						4B—3A 5A—2B								7B—7A 9A—5B	
0,800								5B—4A 6A—3B							
0,833											6B—5A 7A—4B				
0,858													7B—6A 8A—5B		
0,875															8B—7A 9A—6B
1,000		2B 2A		3B—A 3A—B		4B—2A 4A—2B		5B—3A 5A—3B		6B—4A 6A—4B		7B—5A 7A—5B		8B—6A 8A—6B	

Комбинационные частоты в смесителе
Выделяется разностная частота ($B-A$)

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,000	B	$B+A$	$B\pm 2A$	$B\pm 3A$	$B\pm 4A$	$B\pm 5A$	$B\pm 6A$	$B\pm 7A$	$B\pm 8A$	$B\pm 9A$	$B\pm 10A$	$B\pm 11A$	$B\pm 12A$	$B\pm 13A$	$B\pm 14A$
0,063															$15A$
0,067														$14A$	
0,072													$13A$		
0,077												$12A$			
0,083											$11A$				$2B-13A$
0,091										$10A$				$2B-12A$	
0,100									$9A$				$2B-11A$		
0,111								$8A$				$2B-10A$			
0,125							$7A$				$2B-9A$				
0,133															$14A-B$

Продолжение

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,143						6A				2B-8A				13A-B	
0,154													12A-B		
0,167					5A				2B-7A			11A-B			
0,182											10A-B				3B-12A
0,200				4A				2B-6A		9A-B				3B-11A	
0,214															13A-2B
0,222									8A-B				3B-10A		
0,231														12A-2B	
0,250			3A				2B-5A	7A-B				3B-9A	11A-2B		
0,273												10A-2B			
0,286							6A-B					3B-8A			
0,300											9A-2B				4B-11A

$R = \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,308															12A-3B
0,333		2A				2B-4A 5A-B				3B-7A 8A-2B				4B-10A 11A-3B	
0,364													10A-3B		
0,375									7A-2B				4B-9A		
0,400					4A-B				3B-6A			9A-3B			
0,416															11A-4B
0,429								6A-2B				4B-8A			
0,445											8A-3B				5B-10A
0,455														10A-4B	
0,500	A			3A-B	2B-3A		5A-2B	3B-5A		7A-3B	4B-7A		9A-4B	5B-9A	
0,545															10A-5B
0,555												8A-4B			

$R - \frac{A}{B}$	Порядок величины комбинационной составляющей														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,571									6A-3B				5B-8A		
0,600				4A-2B						4B-6A				9A-5B	
0,625											7A-4B				6B-9A
0,667			2A-B				3B-4A	5A-3B				5B-7A	8A-5B		
0,700															9A-6B
0,715										6A-4B				6B-8A	
0,750					3A-2B				4B-5A			7A-5B			
0,778														8A-6B	
0,800							4A-3B				5B-6A				
0,833									5A-4B				6B-7A		
0,858											6A-5B				7B-8A
0,875													7A-6B		
1,000				2B-2A		3B-3A		4B-4A		5B-5A		6B-6A		7B-7A	

Пример.

Смешиваются частоты $B = 4,9$ мГц и $A = 2,1$ мГц. Выделяется суммарная частота $(A+B) = 7,0$ мГц. Отношение этих частот равно $A/B = 2,1/4,9 = 0,429$. Из табл. 3.1 находим для этого отношения, что слагающие, которые дадут нулевые биения с выделяемой частотой $7,0$ мГц, имеют вид: $(4B-6A)$ и $(8A-2B)$, т. е. имеют 10-й порядок величины и их влиянием можно пренебречь.

3.9. ТЕПЛОВЫЕ ШУМЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ RC -ЦЕПИ

Тепловые шумы чисто активного сопротивления определяются следующей формулой:

$$E_{\text{ш}} = \sqrt{4kTR\Delta f}, \quad (3.32)$$

где Δf — полоса частот, *гц*; R — сопротивление, *ом*.

В случае параллельной цепочки RC ее можно заменить эквивалентным полным сопротивлением Z с последовательно соединенными активной r и реактивной x частями

$$Z = r + jx.$$

Активная часть имеет выражение

$$r = \frac{R}{1 + (\omega CR)^2} = R \left(\frac{1}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \right) = R \left(\frac{1}{1 + N^2} \right),$$

где $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ — частота, на которой $R = \frac{1}{\omega C}$, а $N = \frac{f}{f_0}$. Шумы порождаются этим эквивалентным последовательным активным сопротивлением. Так как r зависит от частоты, то для определения напряжения шумов такой цепи необходимо вместо R подставить в формулу (3.31) интеграл от r по df в пределах некоторого частотного участка

$$E_{\text{ш}} = 1,28 \cdot 10^{-10} \sqrt{\int_{f_1}^{f_2} r df}. \quad (3.33)$$

После интегрирования и замены пределов получаем

$$E_{\text{ш}} = \frac{1,28 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{2\pi C}} \sqrt{\text{arc tg } N_2 - \text{arc tg } N_1}. \quad (3.34)$$

Спектр шумов параллельной цепочки RC сосредоточен в основном в области низких частот. Поэтому можно с хорошей точностью считать, что для четырехполюсника с верхней частотой полосы $f_2 = N_2 f_0$ (где $N \gg 1$), на входе которого включена параллельная RC цепочка, шумы можно находить, полагая $f_2 = \infty$.

Для области от $f = Nf_0$ до $f = \infty$ интеграл (3.33) дает

$$E_{ш} = \frac{1,28 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{C}} \sqrt{\frac{\text{arc ctg } N}{2\pi}} = \frac{0,51 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{C}} \sqrt{\text{arc ctg } N}. \quad (3.35)$$

По этой формуле и построена номограмма № 26, которая по известной емкости C , сопротивлению R и частоте f позволяет быстро находить эффективное напряжение шумов параллельной цепочки RC , для заданной области частот. Эту же номограмму можно использовать и для четырехполюсников с известной полосой пропускания, если на их входе включена параллельная RC цепочка.

Если f_1 и f_2 граничные частоты полосы пропускания четырехполюсника, то сначала с помощью номограммы определяется напряжение шумов E_1 для интервала частот от f_1 до $f = \infty$, а затем — E_2 для области частот от f_2 до $f = \infty$ (здесь $f_1 < f_2$). После этого вычисляется значение $E = \sqrt{E_1^2 - E_2^2}$.

Пример.

Найти эффективное напряжение шумов параллельной цепочки RC в области частот от $f_1 = 100$ кГц до $f = \infty$. $R = 20$ ком и $C = 700$ мкмкф.

По правой части номограммы № 18 находим

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} = 250 \text{ кГц},$$

поэтому $N = \frac{f_1}{f_0} = \frac{100}{250} = 0,4$. Из номограммы № 26 определяем $E = 2$ мкв.

НОМОГРАММА № 27

3.10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШУМФАКТОРА ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Номограмма позволяет определять шумфактор любых четырехполюсников по значениям входного и выходного сопротивлений, полосы пропускания и коэффициента усиления. Кроме того, должно быть известно напряжение шумов на выходе четырехполюсника.

Номограммы построены по известным формулам радиотехники. Эффективное напряжение тепловых шумов на сопротивлении R

$$E = \sqrt{4kT\Delta f R}. \quad (3.36)$$

Эффективное значение напряжения шумов на входе четырехполюсника

$$E_{вх} = \frac{E_{вых}}{K_H} \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_{вых}}}. \quad (3.37)$$

шумфактор четырехполюсника

$$F = \frac{E_{вх}^2}{kT\Delta f R_{вх}}, \quad (3.38)$$

В этих формулах применены следующие обозначения: $k = 1,37 \cdot 10^{-23}$ дж/абс. град. — физическая константа; T — абсолютная температура, абс. град; Δf — полоса пропускания четырехполосника, гц; $R_{вх}$ — входное сопротивление, ом; $R_{вых}$ — выходное сопротивление, ом; K_n — коэффициент усиления четырехполосника по напряжению; $E_{вых}$ — эффективное напряжение тепловых шумов на выходе четырехполосника, в.

По величинам $R_{вх}$, $R_{вых}$, K_n и $E_{вых}$ по левой части номограммы определяется величина $E_{вх}$. Для этого на соответствующих шкалах откладываются отношение $\frac{R_{вх}}{R_{вых}}$ и напряжение шумов на выходе $E_{вых}$. Через эти точки проводится прямая, которая отсечет на шкале K_1 значение поправочного коэффициента $K_1 = E_{вых} \sqrt{\frac{R_{вх}}{R_{вых}}}$. Определяется алгебраическая сумма этого поправочного коэффициента K_1 и коэффициента усиления четырехполосника K_n в децибелах. Эта величина откладывается на шкале $K_n + K_1$. По шкале $E_{вх}$ отсчитывается величина входных шумов $E_{вх}$, соответствующая вычисленной сумме $K_n + K_1$.

Далее, на правой части номограммы № 27 на шкалах A и B откладываются заданные величины $R_{вх}$ и Δf соответственно. Через эти точки проводится прямая линия до встречи ее со шкалой B , на которой отсчитывается эффективное напряжение тепловых шумов входного сопротивления E . На шкале Γ (ось абсцисс графика) откладывается найденная ранее величина $E_{вх}$. На графике находится точка с координатами E и $E_{вх}$. Через эту точку проводится наклонная линия, и на шкале D отсчитывается значение шумфактора F четырехполосника, выраженное в виде отношения. На шкале $Ж$ даны значения шумфактора F в децибелах.

Пример.

В приемнике с полосой 5 мгц, имеющем $R_{вх} = R_{вых} = 90$ ом, получены выходные шумы $E_{вых} = 0,8$ в. Найти его шумфактор. Определяем сначала эквивалентные шумы на входе приемника. Из номограммы $E_{вх} = 8$ мкв. Далее находим $F = 89$ ($F = 19,5$ дб).

НОМОГРАММА № 28

3.11. ШУМФАКТОР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

Для определения шумфактора цепочки последовательно соединенных четырехполосников предназначается номограмма № 28. Для этого необходимо знать шумфактор и коэффициент усиления каждого

четыреxpолyсника цепочки. Общий шумфактор цепочки определяется следующей формулой:

$$F_{\text{общ}} = F_1 + F_2' + F_3' + \dots + F_r' \quad (3.39)$$

Здесь каждый член, начиная со второго, в общем виде имеет следующее выражение:

$$F_r' = \frac{F_r - 1}{K_r'} \quad (3.40)$$

где F_r — шумфактор r -го четыреxpолyсника; K_r' — общее усиление суммы r четыреxpолyсников.

Номограмма построена по формуле (3.40). После определения F_r' из номограммы для всех входящих в цепочку четыреxpолyсников находят общий шумфактор из формулы (3.39) простым суммированием полученных величин.

Пример.

Усилитель высокой частоты имеет шумфактор $F_1 = 7$ дб ($F_1 = 5,01$). Присоединенный к нему смеситель обладает шумфактором $F_2 = 15$ дб ($F_2 = 31,6$). Общее усиление смесителя и усилителя равно $K_r' = 17$ дб. Найти общий шумфактор схемы. Откладываем по оси ординат номограммы $K_r' = 17$ дб. Проводим из этой точки прямую до встречи ее с наклонной прямой, соответствующей $F_2 = 31,6$. Этому на оси абсцисс соответствует $F_2' = 0,61$. Далее по формуле (3.39) вычисляем $F_{\text{общ}} = F_1 + F_2' = 5,01 + 0,61 = 5,611$ ($F_{\text{общ}} = 7,5$ дб).

НОМОГРАММА № 29

3.12. РАСЧЕТ МАЛОМОЩНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Номограмма № 29 предназначена для расчета маломощного кенотронного двухполупериодного выпрямителя с емкостной нагрузкой. Номограмма составлена по формулам

$$\operatorname{tg} \theta - \theta = A = \frac{\pi r I}{2E} \quad (3.41)$$

$$U_{\phi} = \frac{E}{\sqrt{2} \cos \theta} \quad (3.42)$$

$$J_{\phi} = \frac{I}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi[\theta(1 - 0,5 \cos 2\theta) - 0,75 \sin 2\theta]}}{\sin \theta - \theta \cos \theta} \quad (3.43)$$

$$J_m = \frac{I}{2} \frac{\pi(1 - \cos \theta)}{\sin \theta - \theta \cos \theta} \quad (3.44)$$

В этих формулах I — выпрямленный ток, a ; E — выпрямленно напряжение, v (без учета падения напряжения в фильтре); r — сопротивление фазы, $ом$, равное сумме сопротивления половины вторичной обмотки и сопротивления кенотрона; U_{ϕ} — эффективное напряжение половины вторичной обмотки трансформатора, v ; J_{ϕ} — эффективная сила тока во вторичной обмотке, a ; J_m — максимальный импульс анодного тока через кенотрон, a ; θ — угол отсечки, *радиан*.

Для расчета на соответствующих шкалах откладываются известные величины I , E и r . Отметки I и r соединяются прямой. Через точку ее пересечения со вспомогательной осью и через отметку проводится вторая прямая, которая на оси A отсечет значение коэффициента A .

Для определения эффективного напряжения фазы надо отметку на шкале E соединить с отметкой A на шкале AU_{ϕ} (с левой стороны крайней правой шкалы). Ответ получится на шкале U_{ϕ} . Для определения эффективной силы тока надо значение I соединить с отметкой A на шкале AJ_{ϕ} (нижняя часть с правой стороны правой шкалы). Ответ получится на шкале J_{ϕ} . Для определения максимального импульса анодного тока надо значение I соединить с отметкой A на шкале AJ_m (верхняя часть с правой стороны крайней правой шкалы). Ответ получится на шкале J_m .

Пример.

Определить эффективные значения силы тока и фазового напряжения и максимум анодного тока, если $E = 400$ *v*, $I = 75$ *ма*, $r = 500$ *ом*.

Ответ: $A = 0,15$; $U_{\phi} = 370$ *v*; $J_{\phi} = 70$ *ма*, $J_m = 240$ *ма*.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПАССИВНЫЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ

НОМОГРАММА № 30

4.1. СОГЛАСУЮЩИЕ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКИ С МИНИМАЛЬНЫМ ЗАТУХАНИЕМ

Номограмма № 30 предназначена для расчета согласующих четырехполюсников, изображенных на номограмме. Такие согласующие цепи обладают минимальным затуханием, которое определяется как

$$\beta = 20 \lg \left[\sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} - 1} \right]. \quad (4.1)$$

Здесь Z_1 — входное полное сопротивление одной согласуемой цепи, ом; Z_2 — входное полное сопротивление второй согласуемой цепи, ом; β — затухание, дб.

В этом случае элементы согласующих четырехполюсников должны находиться в следующей зависимости от этих входных сопротивлений:

$$R_1 = Z_1 \sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}, \quad (4.2)$$

$$R_2 = \frac{Z_2}{\sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}}. \quad (4.3)$$

Номограмма № 30 построена по этим формулам и позволяет по заданным значениям Z_1 и Z_2 находить минимальное затухание и величины элементов согласующего четырехполюсника.

На шкале $\frac{Z_2}{Z_1}$ откладывается отношение входных сопротивлений. Против отложенной точки на левой шкале отсчитывается величина β . При этом должно быть $Z_1 > Z_2$. На шкале Z_1 откладывается известная величина и проводится прямая через эту точку и точку на

шкале β . В месте пересечения прямой со шкалой R_1 находится ответ. Через отложенную точку на шкале Z_2 и точку на шкале β проводят прямую. Эта прямая отметит на шкале R_8 необходимое значение сопротивления R_8 .

Пример.

Согласовать две линии с волновыми сопротивлениями $Z_1 = 500$ ом и $Z_2 = 400$ ом. Отношение $\frac{Z_2}{Z_1} = 0,8$. Минимальное возможное затухание равно $\beta = 4,2$ дб. Сопротивления равны $R_1 = 225$ ом и $R_8 = 890$ ом.

НОМОГРАММА № 31

4.2. РАСЧЕТ Т-и Н-ОБРАЗНЫХ ОСЛАБИТЕЛЕЙ

Номограмма № 31 может применяться для расчета схем ослабителей, изображенных в верхней части номограммы. Затухание таких схем и величины составляющих элементов могут быть рассчитаны по формулам

$$\frac{R_1}{Z} = \frac{K-1}{K+1}, \quad (4.4)$$

$$\frac{R_8}{Z} = \frac{2K}{K^2-1}, \quad (4.5)$$

$$\frac{R_{12}}{Z} = \frac{K^2-1}{2K}, \quad (4.6)$$

$$\frac{R_{18}}{Z} = \frac{K+1}{K-1}, \quad (4.7)$$

$$R_5 = Z \quad (4.8)$$

$$\frac{R_2}{Z} = \frac{1}{K-1}, \quad (4.9)$$

$$\frac{R_4}{Z} = K-1, \quad (4.10)$$

$$\beta = 20 \lg K. \quad (4.11)$$

Здесь R_n — указанное на схеме сопротивление, ом; Z — входное сопротивление, равное выходному, ом; β — затухание ослабителя, дб, K — коэффициент ослабления. Номограмма построена по этим формулам и позволяет находить параметры ослабителей, если задано входное сопротивление и затухание. Для этой цели на обоих шкалах

откладывается заданная величина и отметки соединяются прямой. На шкалах $\frac{R_n}{Z}$ в месте пересечения их прямой читают ответ.

Пример.

Ослабитель должен обеспечить затухание $\beta = 17$ дб.

Ответ: $R_1/Z = 0,75$; $R_3/Z = 0,29$; $R_{12}/Z = 3,5$;

$R_{13}/Z = 1,34$; $R_2/Z = 0,165$; $R_4/Z = 6,1$.

НОМОГРАММЫ №№ 32 и 33

4.3. РАСЧЕТ ЛИНЕЙНЫХ СХЕМ, СОДЕРЖАЩИХ L , C , R

Номограммы № 32 и № 33 предназначены для расчета линейных схем, содержащих индуктивности, емкости и сопротивления. Эти номограммы построены по формулам

$$R = 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{t_c}{C}, \quad (4.12)$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} = CR^2 = Rt_c = \frac{t_c^2}{C}, \quad (4.13)$$

$$C = \frac{1}{2\pi fX} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{L}{R^2} = \frac{t_c}{R} = \frac{t_c^2}{L}, \quad (4.14)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{X}{2\pi L} = \frac{1}{2\pi CX} = \frac{1}{2\pi t_c} = \frac{3 \cdot 10^8}{\lambda}, \quad (4.15)$$

$$t_c = \sqrt{LC} = \frac{L}{R} = CR = \frac{1}{2\pi f} = \frac{\lambda \cdot 10^{-8}}{6\pi}, \quad (4.16)$$

$$\lambda = 2\pi \sqrt{LC} \cdot 3 \cdot 10^8 = \frac{3 \cdot 10^8}{f} = 6\pi t_c 10^8. \quad (4.17)$$

Каждая точка на любой из двух номограмм образована пересечением четырех координатных линий: частоты f , сопротивления R , (X) [или проводимости G , (B)], индуктивности L , емкости C . Номограмма № 33 представляет собой изображенный в увеличенном масштабе участок номограммы № 32, заключенный между десятичными точками ее логарифмической сетки. Поэтому приближенные расчеты и установление порядка величины следует проводить с помощью номограммы № 32, имеющей широкий диапазон величин. Более точные расчеты следует выполнять на номограмме № 33.

Кроме перечисленных шкал, каждая номограмма имеет еще дополнительные шкалы — длины волн λ и постоянные времени t .

Рассмотрим несколько примеров применения номограмм.

А. Расчет параллельного резонансного контура

Реактивные сопротивления емкостной и индуктивной ветвей параллельного контура без потерь выражаются следующими формулами:

$$X = \omega L = 2\pi fL, \quad (4.18)$$

$$X = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (4.19)$$

в которых X — реактивное сопротивление, *ом*; f — частота, *гц*; L — индуктивность, *гн*; C — емкость, *ф*. При резонансе имеют место следующие соотношения:

$$X_0 = \omega_0 L = \frac{1}{2\pi f_0 C}, \quad (4.20)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \quad (4.21)$$

На рис. 3,б показана схема расчетов по этим формулам. На наклонных линиях отсчитываются величины индуктивности L и емкости C . Вертикальные линии дают значение частоты f (длины волны λ), горизонтальные линии соответствуют значениям сопротивления R или X (проводимости G или B).

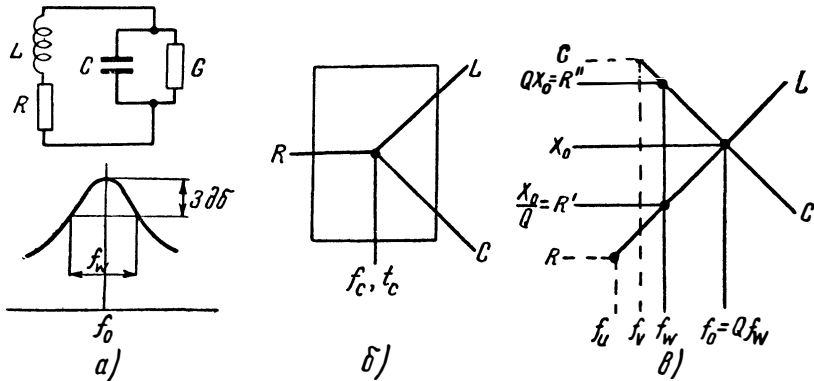


Рис. 3. Схема расчета параллельного контура по номограммам №№ 32 и 33: а — схема и резонансная характеристика реального контура; б — схема расчета идеального контура ($R = G = 0$); в — схема расчета реального контура ($R \neq 0, G \neq 0$).

Реальный контур (рис. 3,а) имеет кроме реактивных элементов также последовательное сопротивление в индуктивной ветви и проводимость утечки, параллельную емкости. Такой контур ведет себя, как фильтр, и кроме резонансной частоты, он будет характеризоваться полосой частот f_w . Если полосу измерять на уровне 3 дб, то имеют место следующие соотношения:

$$f_w = f_u + f_v \ll f_0, \quad (4.22)$$

$$\omega_U = 2\pi f_U = \frac{1}{t_U} = \frac{R}{L}; \quad \omega_V = 2\pi f_V = \frac{1}{t_V} = \frac{G}{C}, \quad (4.23)$$

$$\omega_W = 2\pi f_W = \frac{1}{t_W} = \frac{R}{L} + \frac{G}{C}, \quad (4.24)$$

где G — проводимость утечки конденсатора; $\frac{1}{\text{ом}}$; $t_U = \frac{L}{R}$ — постоянная времени индуктивной ветви, сек.; $t_V = \frac{C}{G}$ — постоянная времени емкостной ветви, сек.; t_W — половина постоянной времени свободных колебаний в резонансном контуре.

На рис. 3,б показана схема расчетов реального контура. Пересечение линий R и L дает точку f_U , точка f_V получается на пересечении линий G и C . Сумма двух величин f_V и f_U дает величину f_W . Последовательное и параллельное эквивалентные сопротивления контура R' и R'' .

$$R' = \omega_W L = 2\pi f_W L, \quad (4.25)$$

$$R'' = \frac{1}{\omega_W C} = \frac{1}{2\pi f_W C}, \quad (4.26)$$

добротность контура

$$Q = \frac{f_0}{f_W} = \frac{X_0}{R'} = \frac{R''}{X_0} \gg 1 \quad (4.27)$$

или затухание

$$\delta = \frac{f_W}{f_0} = \frac{1}{Q} = \frac{R'}{X_0}. \quad (4.28)$$

Величина эквивалентного последовательного сопротивления R' соответствует точке пересечения линий f_W и L . Пересечение линии f_W с линией C дает значение эквивалентного параллельного сопротивления R'' . Для расчета добротности и затухания контура по величинам f_0 и f_W можно пользоваться номограммой № 24, где на шкале Δf откладывают f_W , а на шкале f отмечают значение f_0 .

Пример.

Контур имеет следующие параметры: $G = 10^{-3} \frac{1}{\text{ом}}$, $R = 20 \text{ ом}$, $L = 5 \text{ мкГн}$, $C = 200 \text{ мкМкФ}$. Номограммы дают следующие величины: $f_0 = 5 \text{ мГц}$ — частота резонанса; $f_W = 865 \text{ кГц}$ — полоса пропускания (на уровне 3 дБ); $R'' = 920 \text{ ом}$ — эквивалентное параллельное сопротивление; $Q = 5,75$ — добротность контура ($\delta = 0,17$ — затухание в контуре). Схема расчетов показана на рис. 3,в.

Б. Расчет электрических фильтров

На рис. 4,а изображены простейшие фильтры пропускания нижних частот, а на рис. 4,б — фильтры верхних частот, элементы которых связаны следующим соотношением:

$$R = 2\pi f_c L = \frac{1}{2\pi f_c C}, \quad (4.29)$$

где f_c — частота среза. Схема пользования номограммой для этого случая изображена на рис. 4,2. На шкале частот отыскивают частоту среза. Этой частоте соответствует время задержки сигнала полувзвеном фильтра $t_c = \frac{L}{R} = CR = \frac{1}{2\pi f_c}$. Любое такое полувзвено, нагруженное на сопротивление R с обоих концов, представляет

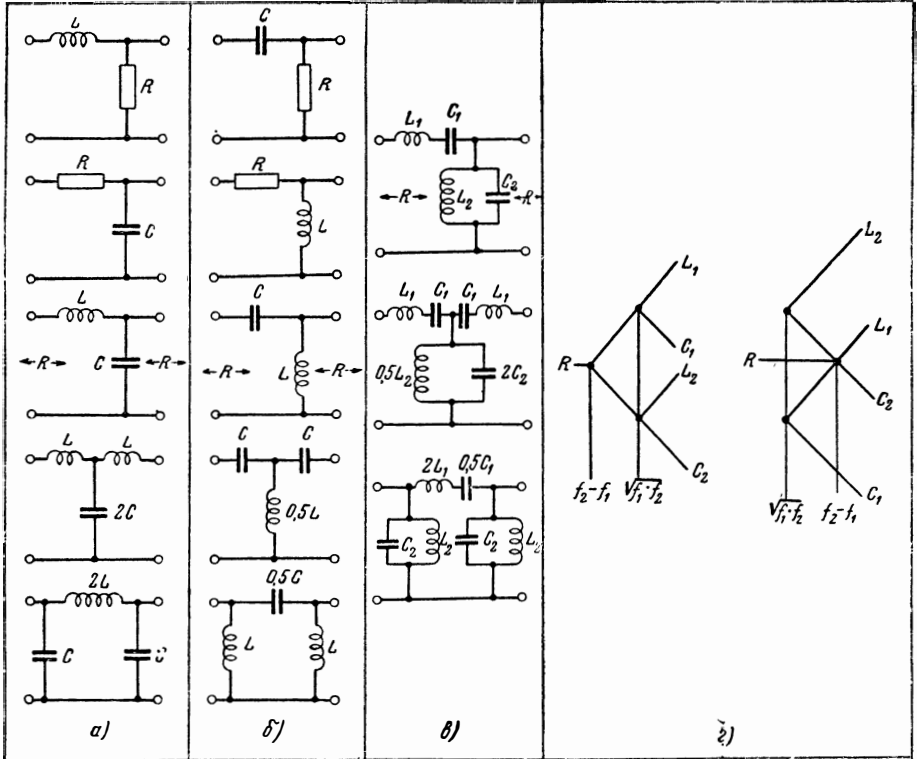


Рис. 4. Фильтры:

а) фильтры нижних частот; б) фильтры верхних частот; в) полосовые фильтры; г) схемы расчетов для полосовых фильтров.

собой резонансный контур с критическим затуханием и резонансной частотой, равной f_c .

На рис. 4,в показаны некоторые простейшие полосовые фильтры, которые также можно рассчитывать с помощью номограммы. Если граничные частоты таких фильтров равны соответственно f_1 и f_2 , то имеют место следующие зависимости:

$$2\pi(f_2 - f_1) = \frac{R}{L} = \frac{1}{RC_2}, \quad (4.30)$$

$$(2\pi)^2 f_1 \cdot f_2 = \frac{1}{C_1 L_1} = \frac{1}{C_2 L_2}. \quad (4.31)$$

На рис. 4,2 даны схемы расчетов полосовых фильтров для двух случаев: 1) когда полоса пропускания меньше и 2) больше средней частоты фильтра. Три точки пересечения координатных линий задаются только величинами R , f_1 и f_2 , а затем определяются значения емкостей и индуктивностей фильтра. По аналогичной схеме можно рассчитывать и режекторные фильтры, если произвести взаимную замену последовательных и параллельных элементов их, показанных на рис. 4,6. Числовой пример расчета фильтров приведен в разделе 4.4 этой главы, где дан несколько отличный метод расчета многозвенных фильтров с помощью таблиц.

4.4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ

А. Фильтры верхних и нижних частот

Из теории электрических фильтров известно, что сложные фильтры, составленные из звеньев простых фильтров типа K и типа M , будут иметь наиболее резкий излом частотной характеристики и наибольшее затухание вне полосы пропускания, если эти составляющие звенья имеют $M=0,8$. (Более точно: полное звено секции должно иметь $M=0,8$, а концевые полувзвены должны иметь $M=0,6$. Для фильтров типа K всегда $M=1$). В этом случае получается также большое постоянство волнового сопротивления фильтра и может быть достигнуто наиболее совершенное согласование фильтра с нагрузкой и генератором в полосе пропускания.

На рис. 5 изображены схемы отдельных звеньев Π - и T -образных фильтров нижних и верхних частот типа M и типа K . Сложный фильтр может быть составлен из таких звеньев и рассчитан при условии, что в него должны войти два концевых полувзвена типа M , одно полное звено типа M и любое количество звеньев типа K . При этом предполагается, что фильтр согласован с генератором и нагрузкой: $R_r = R_n = Z_0$. На рис. 5 рядом с каждым элементом обозначена величина его приведенного реактивного сопротивления X_L или X_C (выраженного в величинах Z). Эти величины получены расчетным путем.

Далее расчет ведет по формулам

$$L = \frac{X_L}{2\pi f_c}, \quad (4.32)$$

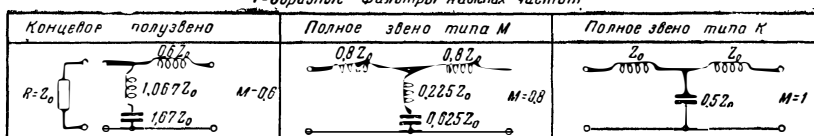
$$C = \frac{1}{2\pi f_c X_C}. \quad (4.33)$$

При этом можно пользоваться номограммами №№ 32, 33, где вместо значения частоты f следует подставлять величину f_c .

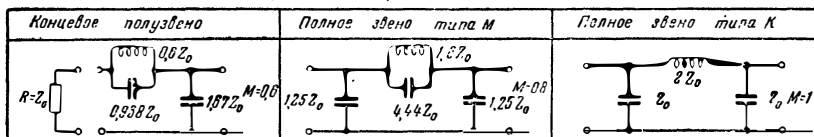
Пример.

Рассчитать трехзвенный фильтр нижних частот, составленный из T -образных секций. Волновое сопротивление фильтра должно равняться $Z = 500$ ом. Частота среза должна быть $f_c = 1000$ гц.

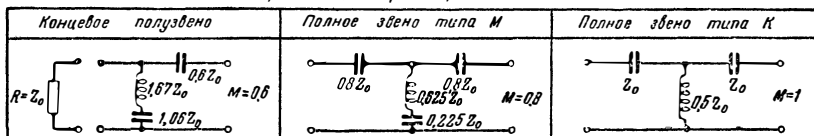
T-образные фильтры нижних частот



Π-образные фильтры нижних частот



T-образные фильтры верхних частот



Π-образные фильтры верхних частот

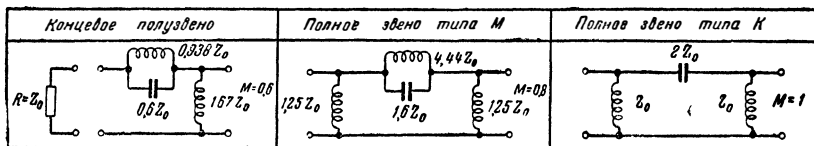


Рис. 5. Реактивные сопротивления фильтров нижних и верхних частот.

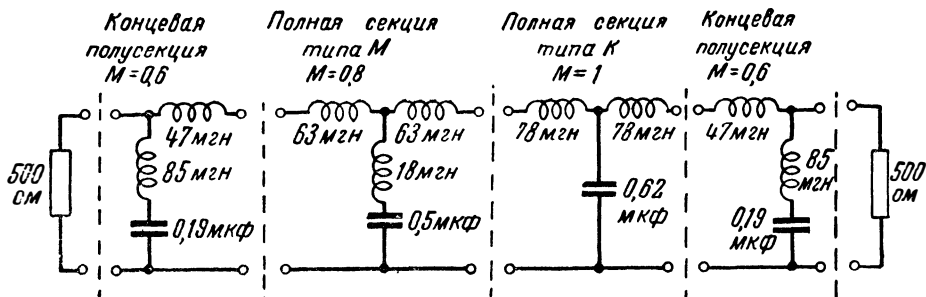


Рис. 6. Схема трехзвенного фильтра нижних частот.

Составим фильтр по схеме рис. 6. После этого определяем величины с помощью номограмм №№ 32, 33. Найденные значения обозначены на рис. 6.

Б. Полосовые фильтры

Подобным же образом с помощью табл. 4.1 и 4.2 можно рассчитать полосовые фильтры. Для этого необходимо знать величину волнового сопротивления Z_0 и среднюю частоту полосы пропускания f_0 , которая определяется следующим образом:

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}. \quad (4.34)$$

Таблица 4.1

Реактивные сопротивления Т-образных полосовых фильтров

$\left(\frac{f_2}{f_0}\right)$	Концевое полузвено M = 0,6			Полное звено типа М M = 0,8			Полное звено типа К M = 1	
	$X_{L_1} = X_{C_1}$	$X_{L_2} = X_{C_3}$	$X_{L_3} = X_{C_2}$	$X_{L_1} = X_{C_1}$	$X_{L_2} = X_{C_3}$	$X_{L_3} = X_{C_2}$	$X_{L_1} = X_{C_1}$	$X_{L_2} = X_{C_2}$
1,05	6,12	20,4	22,1	8,15	4,23	4,98	10,2	0,049
1,10	3,16	9,87	12,7	4,21	2,04	2,78	5,26	0,095
1,15	2,14	6,49	9,20	2,86	1,31	2,04	3,57	0,140
1,20	1,63	4,72	7,4	2,17	0,935	1,73	2,72	0,183
1,25	1,33	3,70	6,48	1,78	0,736	1,53	2,22	0,225
1,30	1,11	3,03	5,80	1,48	0,588	1,41	1,88	0,265
1,35	0,984	2,56	5,42	1,31	0,506	1,34	1,64	0,304
1,40	0,876	2,22	5,12	1,17	0,438	1,30	1,46	0,342
1,45	0,792	1,96	4,95	1,06	0,385	1,27	1,32	0,380
1,50	0,720	1,75	4,71	0,96	0,340	1,25	1,20	0,417

Реактивное сопротивление П-образных полосовых фильтров

$\left(\frac{f_2}{f_0}\right)$	Концевое ползувно M = 0,6			Полное звено типа M M = 0,8			Полное звено типа K M = 1	
	$X_{L_1} = X_{C_2}$	$X_{I_2} = X_{C_1}$	$X_{L_3} = X_{C_3}$	$X_{L_1} = X_{C_1}$	$X_{L_2} = X_{C_1}$	$X_{L_3} = X_{C_3}$	$X_{L_1} = X_{C_1}$	$X_{L_2} = X_{C_2}$
1,05	0,045	0,049	0,163	0,236	0,201	0,123	20,40	0,098
1,10	0,079	0,101	0,316	0,490	0,360	0,238	10,50	0,190
1,15	0,109	0,154	0,467	0,763	0,490	0,350	7,14	0,280
1,20	0,135	0,212	0,613	1,07	0,578	0,461	5,44	0,367
1,25	0,154	0,270	0,750	1,36	0,653	0,562	4,44	0,450
1,30	0,172	0,330	0,900	1,70	0,709	0,675	3,76	0,531
1,35	0,184	0,391	1,02	1,98	0,746	0,763	3,28	0,609
1,40	0,195	0,450	1,14	2,28	0,769	0,855	2,92	0,685
1,45	0,202	0,510	1,26	2,60	0,787	0,943	2,64	0,760
1,50	0,212	0,572	1,39	2,94	0,800	1,04	2,40	0,834

Здесь f_1 и f_2 граничные частоты полосы пропускания. По этим данным из табл. 4.1 и 4.2 находят значение реактивных сопротивлений элементов звеньев фильтра L_1, L_2, L_3 и C_1, C_2, C_3 , выраженных в долях Z_0 . Затем определяют значения емкостей и индуктивностей фильтра по формулам (4.32) и (4.33) по номограммам №№ 32 и 33.

Пример.

Рассчитать трехзвенный полосовой фильтр, составленный из П-образных звеньев. Граничные частоты полосы пропускания равны $f_1 = 770$ гц и $f_2 = 1300$ гц. Волновое сопротивление $Z_0 = 1000$ ом. Схема фильтра показана на рис. 7. Вычисляем сначала

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2} = \sqrt{1300 \cdot 770} = 1000 \text{ гц. } \frac{f_2}{f_1} = \frac{1300}{1000} = 1,3.$$

Из табл. 4.2 находим для данного значения $\frac{f_2}{f_1} = 1,3$ следующие значения реактивных сопротивлений элементов фильтра: для концевых полузвеньев

$$X_{L_1} = X_{C_2} = 0,172Z_0; X_{L_2} = X_{C_1} = 0,330Z_0; X_{L_3} = X_{C_3} = 0,9Z_0;$$

для полного звена типа М

$$X_{L_1} = X_{C_2} = 1,7Z_0; X_{L_2} = X_{C_1} = 0,709Z_0; X_{L_3} = X_{C_3} = 0,675Z_0;$$

для полного звена типа К

$$X_{L_1} = X_{C_1} = 3,76Z_0; X_{L_2} = X_{C_2} = 0,531Z_0.$$

Далее с помощью номограмм №№ 32 и 33, подставляя $Z_0 = 1000$ ом, находим L и C всех звеньев. Полученные значения нанесены на рис. 7.

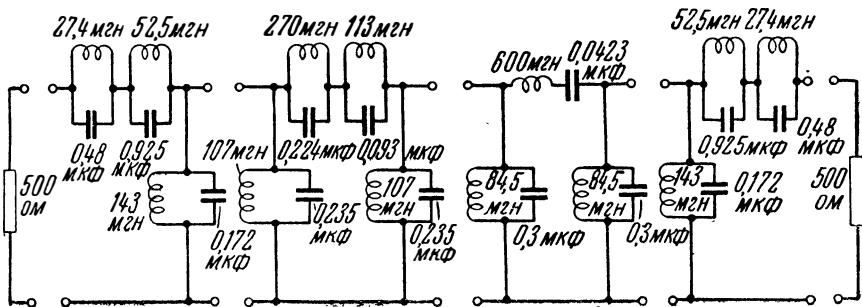


Рис. 7. Схема трехзвенного полосового фильтра.

4.5. ФАЗОСДВИГАЮЩАЯ ЦЕПЬ

Номограмма № 34 предназначена для расчета сдвига фаз и полного сопротивления фазосдвигающей цепи, схема которой дана на номограмме. Номограмма составлена по формулам:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}, \quad (4.35)$$

$$Z = \frac{R}{\cos \varphi}. \quad (4.36)$$

Здесь X , R и Z соответственно реактивное, активное и полное сопротивление в любых одинаковых единицах; φ — сдвиг фаз между выходным и входным напряжениями (или между током и напряжением) без учета знака.

Для расчета величины X и R , отложенные на соответствующих шкалах, соединяются прямой, отсекающей на средней шкале справа искомую величину φ . Затем отметка R соединяется прямой с найденной величиной φ , отложенной на средней шкале слева (φ_Z) до пересечения с осью Z , на которой и определяется величина Z .

Пример.

Дана цепь: $R = 7$ ком; $X = 5$ ком.

Ответ: $\varphi = 36^\circ$, $Z = 8,6$ ком.

4.6. ПРОСТЕЙШИЙ ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ

Номограмма служит для расчета простейшего фазовращателя мостового типа, схема которого показана на самой номограмме. Фазовращатель составлен из трех сопротивлений: R_1 , R_2 и R и емкости C . Напряжение частоты f подается между точками AB и снимается между точками BG . При этом имеют место следующие зависимости между амплитудами и фазами этих переменных напряжений:

$$\left. \begin{aligned} E_1 &= E_{1m} \sin(2\pi ft) \\ E_2 &= E_{2m} \sin(2\pi ft + \varphi) \\ E_{1m} &= 2E_{2m} \end{aligned} \right\} \quad (4.37)$$

Элементы схемы связаны между собой следующими зависимостями

$$R_1 = R_2 = R. \quad (4.38)$$

На сдвиг фаз величина R не влияет.

Фазовый сдвиг между входным и выходным напряжениями зависит от соотношения сопротивлений схемы

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{1}{2\pi fCR}. \quad (4.39)$$

Номограмма № 35 построена по формуле (4.39).

Правила пользования номограммой поясним на примере.

Пример.

Рассчитать фазовращатель на частоту $f = 400$ гц для получения сдвига фазы $\varphi = 118^\circ$. Емкость конденсатора $C = 2000$ мкмкф. Откладываем на шкалах f и C заданные величины и соединяем точки прямой. Прямая пересечет шкалу X_c в точке с пометкой $X_c = 200\,000$ ом. Отложим на шкале φ заданное значение $\varphi = 118^\circ$. Проведем через эту точку и точку на шкале X_c прямую, которая пересечет шкалу R_s в точке с пометкой $120\,000$ ом. Такую величину должно иметь сопротивление R_s для получения заданного сдвига фазы.

НОМОГРАММА № 36

4.7. ГЕНЕРАТОРЫ С ФАЗОВЫМ СДВИГОМ

Номограмма предназначена для расчета двух типов генераторов с фазовым сдвигом, схема которых дана на номограмме. Фазосдвигающие цепочки этих генераторов имеют три одинаковых ячейки, состоящих из сопротивления R и емкости C .

Частота колебаний системы 1-го типа подсчитывается по формуле

$$f_I = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}. \quad (4.40)$$

Частота колебаний системы 2-го типа имеет следующее выражение:

$$f_{II} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}. \quad (4.41)$$

Из номограммы № 36, построенной по этим формулам по двум из трех заданных величин R , C и f_I (или f_{II}), можно найти третью. Здесь R и C — сопротивление, ом и емкость, мкмкф, а f_I — частота схемы 1-го типа и f_{II} — частота схемы 2-го типа, гц.

Пример.

Сопротивления и емкости фазосдвигающей цепочки равны соответственно каждое $R = 40\,000$ ом и $C = 3000$ мкмкф. Номограмма дает значение частоты схемы 1-го типа $f_I = 550$ гц и частоты 2-го типа схемы $f_{II} = 3250$ гц.

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИМПУЛЬСНЫЕ СХЕМЫ

НОМОГРАММА № 37

5.1. РАСЧЕТ ИСКУССТВЕННЫХ ДЛИННЫХ ЛИНИЙ

Номограмма № 37 предназначена для расчета искусственных длинных линий, применяемых как для формирования импульсов, так и для передачи импульсов с задержкой по времени. Такая искусственная линия изображена на номограмме. Длительность импульса τ , длительность фронта импульса τ_ϕ , число ячеек линии n и параметры формирующей линии — значения ее емкостей и индуктивностей — определяются следующими зависимостями:

$$\tau_\phi = 0,4 \frac{\tau}{n}, \quad (5.1)$$

$$L = \frac{Z_0 \tau}{2n}, \quad (5.2)$$

$$C = \frac{\tau}{2Z_0 n}. \quad (5.3)$$

Здесь под длительностью фронта импульса подразумевается время, в течение которого напряжение нарастает до половины амплитудного значения. L — индуктивность и C — емкость ячейки линии соответственно, выраженные в генри и в фарадах. По заданным величинам R_n , τ и τ_ϕ из номограммы № 37, построенной по этим формулам, можно найти значения n , L и C . Здесь принято $Z_0 = R_n$.

Пример.

Определить число ячеек n и параметры искусственной длинной линии, предназначенной для формирования импульса длительностью $\tau = 10$ мксек с длительностью фронта не более $\tau_\phi = 0,5$ мксек. Волновое сопротивление линии равно сопротивлению нагрузки $Z_0 = 2000$ ом. Проведем через точки на шкалах τ и τ_ϕ прямую линию

и в месте пересечения ее со шкалой n прочтем $n = 8$. При этом длительность фронта нужно откладывать на шкале τ_{ϕ} , помеченной A . Далее проведем прямую линию через точки 0,5 на шкале τ_{ϕ} (A) и 2000 на шкале R_n . На шкалах C и L прочтем значения $C = 310$ мкмксф и $L = 1300$ мкгн.

Если при нахождении n получается дробная величина, то ее нужно округлить до ближайшего большего целого числа. В этом случае длительность фронта несколько уменьшится.

При употреблении номограммы следует помнить, что прямыми можно соединить между собой точки, лежащие на следующих шкалах. Первая прямая: n, τ, τ_{ϕ} . Вторая прямая: R_n, τ_{ϕ}, C, L . Точка пересечения этих прямых должна лежать на шкале τ_{ϕ} .

При расчете искусственной длинной линии, предназначенной для передачи импульсов с задержкой по времени, состоящей из конечного числа ячеек n , длительность фронта выходного импульса τ_{ϕ} нужно откладывать на шкале τ_{ϕ} , помеченной B , а вместо длительности импульса на шкале τ откладывать $\tau_{\text{зад}}$ — единицу времени задержки. Параметры L и C , полученные из номограммы, необходимо увеличить в два раза. Предполагается, что линия согласована с генератором импульсов и с нагрузкой.

Пример.

$$R_n = 2000 \text{ ом}, \tau_{\text{зад}} = 10 \text{ мксек}, n = 8.$$

Получаем $L = 2,5$ мкгн, $C = 620$ мкмксф, $\tau_{\phi} = 2,75$ мксек.

НОМОГРАММА № 38

5.2. РАСЧЕТ ФОРМИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ, СОСТАВЛЕННОЙ ИЗ ПАРАЛЛЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ РЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ

Номограмма № 38 предназначена для расчета формирующих цепей, составленных из параллельно соединенных резонансных контуров, изображенных на номограмме. Параметры цепочки L и C связаны с величиной нагрузочного сопротивления R_n , длительностью импульса τ и порядковым номером последовательного контура n следующим образом:

$$C_n = \frac{4\tau}{\pi^2(2n+1)^2 R_n}, \quad (5.4)$$

$$L = \frac{R_n \tau}{4}. \quad (5.5)$$

В этих формулах $n = 0, 1, 2, 3 \dots$. Величина L не зависит от номера контура и одинакова для всех контуров.

Номограмма построена по этим формулам. Пользование ею пясним на примере.

Пример.

Рассчитать формирующую цепочку, состоящую из параллельных включенных контуров, которая должна создавать импульсы напряжения длительностью $\tau = 10$ мксек на нагрузочном сопротивлении $R_n = 100$ ом. Отложим заданные величины на соответствующих шкалах. Соединим точки на шкалах R и τ прямой линией. В месте пересечения этой прямой со шкалой L прочтем $L = 250$ мкГн. Для определения величины емкости первой ячейки C_0 соединим вторую прямую линией 10 на шкале τ с точкой 0 на шкале n . Через точку пересечения этой прямой со вспомогательной осью и точку 100 на шкале R_n проведем третью прямую до пересечения ее с шкалой C_n , на которой прочтем ответ $C_0 = 40\,500$ мкмкф. Аналогичным образом поступаем и при нахождении всех емкостей ячеек. При этом на шкале n откладываются последовательно величины 1, 2, 3 и т. д. Получаем $C_1 = 4500$ мкмкф, $C_2 = 1650$ мкмкф, $C_3 = 830$ мкмкф, $C_4 = 500$ мкмкф, $C_5 = 335$ мкмкф и т. д. Чем больше ячеек, тем ближе форма импульса к прямоугольной. Однако, если емкость ячейки получается близкой по величине к распределенной емкости катушки индуктивности, то дальнейшее увеличение числа ячеек не будет практически влиять на форму импульса.

Замечание. На номограмме № 38 можно соединять между собой прямыми линиями только точки, лежащие на следующих шкалах: 1) τ и R_n для получения L . 2) n и τ для получения точки на вспомогательной оси, через которую пройдет прямая $C_n - R_n$.

НОМОГРАММА № 39

5.3. РАСЧЕТ ФОРМИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ, СОСТАВЛЕННОЙ ИЗ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ПРОТИВОРЕЗОНАНСНЫХ КОНТУРОВ

С помощью номограммы № 39 можно рассчитывать формирующую цепочку, изображенную на номограмме и состоящую из последовательно соединенных противорезонансных контуров. Номограмма построена по формулам, связывающим параметры цепочки L_n и C , длительность генерируемого импульса τ и сопротивление нагрузки R_n .

$$C = \frac{C_0}{2} = \frac{\tau}{4R_n}, \quad (5.6)$$

$$L_n = \frac{4R_n \tau}{\pi^2 (2n)^2}. \quad (5.7)$$

Номограммой надлежит пользоваться следующим образом. Сначала определяется C и C_0 . Для этого на шкалах τ и R_n откладываются заданные величины, точки соединяются прямой. В месте пересечения прямой со шкалой C_0 , C читается ответ. Далее определяются поочередно все значения индуктивностей формирующей цепочки. Для этого на шкале n откладывается номер очередной индуктивности в соответствии со схемой и проводится прямая через эту точку и точку на шкале R_n . Получившаяся на вспомогательной шкале точка соединяется с точкой на шкале τ . В точке пересечения продолжения прямой со шкалой L_n отсчитывается ответ. Такая операция продлевается последовательно для всех ячеек цепочки.

Пример.

Рассчитать цепочку по схеме, помещенной на номограмме № 39. Дано: $R_n = 1000$ ом, $\tau = 1$ мксек. Из номограммы получаем: $C = 25$ мкккф, $C_0 = 50$ мкккф. $L_1 = 100$ мкгн, $L_2 = 25,3$ мкгн, $L_3 = 11$ мкгн, $L_4 = 4$ мкгн и т. д. Увеличение числа ячеек более 5 не имеет смысла, так как благодаря влиянию индуктивности монтажных проводов это не приведет к улучшению формы импульса.

НОМОГРАММЫ №№ 40 и 41

5.4. ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ

В этом разделе помещены номограммы, позволяющие рассчитать амплитуду и длительность импульса, получающегося при дифференцировании перепадов с экспоненциальным нарастанием и спаданием напряжения (тока). Дифференцирование производится последовательной цепочкой RC_1 , изображенной на номограмме № 41. Здесь R — дифференцирующее сопротивление, C_1 — дифференцирующая емкость и C_2 — паразитная емкость, параллельная сопротивлению R .

Для изображенной на номограмме № 41 схемы для входного сигнала вида

$$U_1 = E(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{\Phi}}}). \quad (5.8)$$

Уравнение выходного импульса имеет вид

$$U_2 = \frac{EC_1}{\tau_{\Phi}(C_1 + C_2)} \frac{1}{\left[\frac{1}{R(C_1 + C_2)} - \frac{1}{\tau_{\Phi}} \right]} \left(e^{-\frac{t}{\tau_{\Phi}}} - e^{-\frac{t}{R(C_1 + C_2)}} \right). \quad (5.9)$$

Здесь τ_{Φ} — постоянная времени нарастания напряжения во время перепада. Амплитуда дифференцированного импульса имеет следующую

щее выражение, полученное как максимальное значение из уравнения (5.9).

$$U_{2 \text{ макс}} = E \frac{C_1}{C_1 + C_2} \left[\frac{1}{\beta} \right]^{\left(\frac{\beta}{\beta - 1} \right)} = E \frac{C_1}{C_1 + C_2} e^{-\frac{t_3}{R(C_1 + C_2)}}, \quad (5.10)$$

где $\beta = \frac{\tau_{\text{ф}}}{R(C_1 + C_2)}$. Находя значение величины t_3 , соответствующее $U_{2 \text{ макс}}$, мы будем знать, на сколько времени запаздывает вершина дифференцированного импульса относительно начала перепада, подаваемого на цепочку. Это время запаздывания выражается как

$$t_3 = \frac{1}{\beta - 1} \tau_{\text{ф}} \cdot \ln \beta. \quad (5.11)$$

Подобным же образом можно определить и время запаздывания любой части дифференцированного импульса, выраженной в долях от максимального значения, относительно начала перепада, т. е. длительность импульса на заданном уровне напряжения. Обозначая

$$\gamma = \frac{C_1}{C_1 + C_2}, \quad (5.12)$$

$$T = \frac{t}{\tau_{\text{ф}}},$$

можно выразить интересующие нас величины следующим образом:

$$t_U = \tau_{\text{ф}} \cdot T_{n\% \text{ макс}}, \quad (5.13)$$

где $n\%$ — уровень в процентах от $U_{2 \text{ макс}}$, на котором измерялась длительность

$$U_{2 \text{ макс}} = E \gamma e^{-\beta T_{\text{ макс}}}, \quad (5.14)$$

$$t_3 = \tau_{\text{ф}} T_{\text{ макс}}. \quad (5.15)$$

Номограммы №№ 40 и 41 составлены по приведенным выше формулам. Номограмма № 40 служит для определения β по заданным величинам $\tau_{\text{ф}}$, R и $(C_1 + C_2)$. Для этого используются пять левых шкал. Далее по C_1 и $(C_1 + C_2)$ находят γ . Затем, пользуясь пятью правыми шкалами, по известным значениям γ , E и β находят $U_{2 \text{ макс}}$ — амплитуду дифференцированного импульса. Номограмма № 41 дает длительность импульса и запаздывание его вершины относительно начала перепада. Пользование номограммами поясним на примере.

Пример.

Дифференцируется перепад напряжения $E = 100$ в, имеющий постоянную времени нарастания напряжения $\tau_{\text{ф}} = 0,25$ мксек. Цепочка имеет следующие величины элементов: $C_1 = 90$ мк.мкф, $C_2 = 10$ мк.мкф и $R = 5000$ ом. Определить характеристики дифференцированного импульса.

По номограмме № 40 определяем $U_{2\text{макс}}$. Для этого на шкалах τ_{ϕ} и $(C_1 + C_2)$ откладываем величины $\tau_{\phi} = 0,25$ и $(90 + 10) = 100$ *мк.мксф.* Соединяем полученные точки прямой. Через точку пересечения ее со вспомогательной осью I (третья слева) и точку 5000 на шкале R проводим еще одну прямую, которая на шкале β отсечет значение $\beta = 0,5$. Далее заданные точки на шкалах $(C_1 + C_2)$ и C_1 , помеченные соответственно 100 и 90, соединяем прямой, которая на шкале γ даст значение $\gamma = 0,9$. Далее пользуемся пятью прямыми шкалами. Соединяем прямой точки 0,9 и 100 на шкалах γ и E соответственно. Отложим на шкале $(\beta)'$ значение β , найденное на четвертой слева шкале, равное $\beta = 0,5$. Через эту точку и точку, полученную на вспомогательной оси, проведем прямую, которая на шкале $U_{2\text{макс}}$ покажет значение амплитуды дифференцированного импульса равное $U_{2\text{макс}} = 45$ *в.*

Далее пользуемся номограммой № 41. Отложим найденное ранее значение β по оси абсцисс графика. Для определения длительности импульса пользуемся одной из двух верхних кривых, в зависимости от того, на каком уровне измеряется эта длительность. Предположим, что нужно знать длительность импульса на уровне 1% от амплитуды $U_{2\text{макс}}$. Находим точку на верхней кривой графика, соответствующую абсциссе $\beta = 0,5$. Проектируем эту точку горизонтально на ось T (ось ординат графика). На оси τ_{ϕ} откладываем заданное значение $\tau_{\phi} = 0,25$. Соединяем точки на шкалах τ_{ϕ} и T прямой, которая на шкале t отсечет значение длительности импульса на уровне $0,01 \times \times U_{2\text{макс}}$, равное $t_U = 3$ *мксек.* Для определения запаздывания вершины импульса относительно начала перепада повторяем аналогичную процедуру, но на графике номограммы № 41 пользуемся кривой $T_{\text{макс}}$. Получаем на шкале значение запаздывания, равное $t_3 = 0,35$ *мксек.* Следует заметить, что на номограмме № 40 можно соединять между собой прямыми точки только на следующих шкалах: τ_{ϕ} и $(C_1 + C_2)$. (Прямая может пересекаться со вспомогательной осью); R и β (дает пересечение со вспомогательной осью I); $(C_1 + C_2)$ и γ (дает точку на шкале C_1); γ и E (дает точку на вспомогательной оси 2); $(\beta)'$ и $U_{2\text{макс}}$ (через точку на вспомогательной оси 2).

НОМОГРАММА № 42

5.5. РАСЧЕТ МУЛЬТИВИБРАТОРА С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Период колебаний мультивибратора с самовозбуждением, схема которого дана на рис. 8, можно с достаточной точностью определить по следующей формуле при условии, что $R_H \ll R_g$

$$T = \tau_1 + \tau_2 = R_{g_1} C_1 \ln \alpha_1 + R_{g_2} C_2 \ln \alpha_2. \quad (5.16)$$

Здесь обозначения сопротивлений и конденсаторов соответствуют схеме рис. 8 и, кроме того,

$$\ln \alpha = \ln \frac{U_m}{E_{g_0}} = \ln \frac{E - U_a}{E_{g_0}}, \quad (5.17)$$

где E — напряжение источника питания, в; U_a — минимальное напряжение на аноде лампы, в; U_m — амплитуда колебаний, в. Под этим понятием имеется в виду размах колебаний или высота перепадов (см. эпюру напряжений на рис. 8); E_{g_0} — значение сеточного

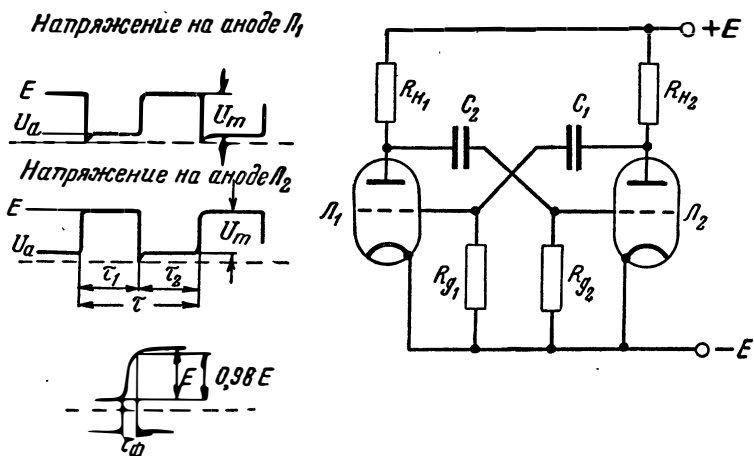


Рис. 8. Мультивибратор с самовозбуждением.

напряжения, при котором лампа запирается при данной нагрузке и данном напряжении источника питания. Время нарастания напряжения во время перепадов или длительность фронтов импульсов τ_ϕ можно найти из следующей приближенной формулы:

$$\tau_\phi = 4(R_n + R_i)C. \quad (5.18)$$

Время τ_ϕ измеряется от начала импульсов до момента, когда его напряжение нарастет до величины 0,98 от амплитудного значения. Номограмма № 42 построена по формулам (5.16—5.18) и позволяет находить длительность полупериода колебаний. В левой части номограммы помещен график, с помощью которого можно для некоторых ламп определять значение множителя $\ln \alpha$ и находить амплитуду колебаний U_m . Этот график составлен лишь для ламп типа 6Н8С, 6С2С, 6Ф8, 6С5 и 6Н15П, питаемых от источников напряжением 100, 200 и 250 в. Если рассчитываемый мультивибратор должен работать на лампе иного типа, не обозначенного на графике, или в ином режиме, то определение $\ln \alpha$ необходимо производить отдельно по формуле (5.17) и характеристикам лампы. Для нахождения периода колебаний, кроме параметров и режима ламп,

нужно знать величину нагрузки в аноде каждой лампы R_n и постоянную времени цепочек связи $R_{g_1}C_1$ и $R_{g_2}C_2$. Посредством номограммы можно рассчитывать и запертые мультивибраторы. Пользование номограммой № 42 поясним на примере.

Пример.

Мультивибратор с самовозбуждением на лампе 6Н8С должен вырабатывать импульсы амплитудой $U_m = 120$ в и длительностью $\tau = 15$ мксек. Частота повторения импульсов должна равняться $f = 25$ кГц. Напряжение источника питания равно $E = 250$ в. Длительность фронтов импульсов не должна превышать $\tau_\phi = 2$ мксек. По оси абсцисс левой части графика, помещенного на номограмме, откладывают заданную амплитуду импульса $U_m = 120$ в. Находят на графике кривую, соответствующую лампе 6Н8С и заданному напряжению источника питания. На оси ординат отсчитывают необходимую для этого случая величину анодной нагрузки $R_n = 8500$ ом. В правой части графика также находят необходимую кривую и отсчитывают на оси абсцисс значение множителя $\ln \alpha = 2,15$, соответствующего полученному сопротивлению нагрузки $R_n = 8500$ ом. По шкале 3 номограммы определяют длительность периода колебаний, соответствующую частоте повторения $f = 25$ кГц. Получаем $T = \tau_1 + \tau_2 = 40$ мксек. Так как необходимо получить импульсы длительностью $\tau = 15$ мксек, то оставшаяся часть периода должна быть равна $\tau_2 = 25$ мксек. Находят значения величин правой половины схемы рис. 8, определяющих τ_1 . На шкале 3 откладывают значение длительности импульса $\tau_1 = 15$ мксек. На шкалу 1 переносят величину $\ln \alpha$, найденную из графика. Соединяют отметки прямой линией и продолжают ее до встречи со шкалой 4, на которой читают значение постоянной времени цепи связи $R_{g_1}C_1 = 7$ мксек. Для определения величины емкости C сначала вычисляют сумму $(R_{n_1} + R_{i_1})$ и откладывают ее на шкале 2. На шкале 3 откладывают значение длительности фронта $\tau_\phi = 2$ мксек. Проводят через эти точки прямую, которая пересечет шкалу 5 в точке $C_1 = 31$ мкмкф. Теперь можно вычислить значение сеточного сопротивления $R_{g_1} = 228$ ком. Поступая аналогичным образом, можно определить параметры правой половины схемы рис. 8. Получаем $R_{g_2}C_2 = 11,9$ мксек. Задаваясь $R_{g_2} = 100$ ком, имеем $C_2 = 120$ мкмкф.

НОМОГРАММА № 43

5.6. РАСЧЕТ ПИК-ТРАНСФОРМАТОРА

Для приближенного расчета длительности импульсов, получаемых на выходе пик-трансформатора, т. е. трансформатора с сильным насыщением стали сердечника, можно пользоваться следующей формулой, по которой построена номограмма № 43.

$$\tau = \sqrt{\frac{B_S H_S V 10^{-7}}{2\pi^2 F P}}. \quad (5.19)$$

Здесь B_s — индукция насыщения стали сердечника, $гс$; H_s — напряженность магнитного поля в точке насыщения для выбранной стали, $эрс$; V — объем стального сердечника, $см^3$; F — частота, $гц$; P — мощность, подводимая к трансформатору, $вт$; τ — длительность получаемого импульса, сек. Объем стали сердечника можно определить как $V = S \cdot l_{cp}$, где l_{cp} — длина среднего магнитного пути в сердечнике, $см$; S — поперечное сечение сердечника, $см^2$.

Подводимая к трансформатору мощность определяется, как произведение тока на напряжение в первичной обмотке трансформатора.

Вследствие того, что формула является приближенной, данные, получаемые из номограммы, не претендуют на большую точность. По этой формуле и номограмме может быть произведен лишь приблизительный расчет. По заданным величинам B_s , H_s , V , P и F определяется длительность импульса τ . Расчет ведется следующим образом. На шкалах H_s и B_s откладываются заданные величины. Отметки соединяются прямой, дающей точку на 1-й вспомогательной оси в месте ее пересечения этой прямой. Таким же образом получается точка на 2-й вспомогательной оси, используя для этого величины P и V . Точки на 1-й и 2-й вспомогательной осях соединяются прямой линией, дающей точку на 3-й вспомогательной оси в месте ее пересечения с последней прямой. Через эту точку и точку на шкале F проводится прямая. В месте пересечения этой прямой со шкалой τ читают ответ — длительность импульса.

Пример.

Пик-трансформатор с сердечником из молибденового пермаллоя имеет $B_s = 6500$ $гс$ и $H_s = 0,2$ $эрс$. Подводимая мощность P составляет 100 $вт$. Сердечник имеет объем $V = 0,5$ $см^3$. При этом $S = 0,05$ $см^2$ и $l_{cp} = 10$ $см$. Частота питающего тока равна $F = 50$ $гц$. Номограмма № 43 дает приближенное значение длительности импульса $\tau \approx 26$ $мксек$.

НОМОГРАММЫ №№ 44 и 45

5.7. РАСЧЕТ ИМПУЛЬСНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

При расчете импульсного трансформатора, предназначенного для передачи импульсов, необходимо знать следующие величины: τ — длительность передаваемого импульса, P — мощность, передаваемая в импульсе, R_n — эквивалентное сопротивление нагрузки, n — коэффициент трансформации и R_i — внутреннее сопротивление источника импульсов. Необходимо также иметь импульсную характеристику намагничивания стали, применяемой в качестве сердечника (т. е. зависимость приращения индукции ΔB от приращения напряженности

магнитного поля ΔH), соответствующую предельной петле обычной кривой намагничивания. Отношение $\frac{\Delta B}{\Delta H}$ в любой точке такой характеристики дает значение импульсной магнитной проницаемости μ_{Δ} . Кроме того, необходимо задаться допустимыми искажениями формы импульса, т. е. отношением длительности фронта к длительности импульса $\frac{\tau_{\phi}}{\tau}$ и процентным спаданием вершины импульса $\frac{\Delta U}{U}$ за время его длительности. При этом предполагается, что на вход трансформатора подается идеальный прямоугольный импульс. Расчет ведется в следующем порядке:

1. Определяется постоянная времени вихревых токов τ_B . Это — время, по истечении которого нарастание индукции во всех сечениях стального листа сердечника приобретает линейный характер. Величина τ_B определяется следующей формулой:

$$\tau_B = \frac{\mu_{\Delta} d^2}{10\rho}, \quad (5.20)$$

где ρ — удельное сопротивление стали сердечника, d — толщина листа сердечника.

2. Из импульсной характеристики намагничивания выбирается значение максимальной индукции $\Delta B_{\text{макс}}$ на краю листа в конце импульса. Величина $\Delta B_{\text{макс}}$ выбирается так, чтобы она лежала в пределах линейного участка характеристики, но находилась вблизи области насыщения. Определяется отношение максимальной индукции на краю листа к средней индукции $\Delta B_{\text{ср}}$, а затем и величина средней индукции из приближенного соотношения, верного для $\frac{\tau}{\tau_B} \geq 1$. Эта величина $\Delta B_{\text{ср}}$ является расчетной.

$$\frac{\Delta B_{\text{макс}}}{\Delta B_{\text{ср}}} \approx \left(1 + \frac{\tau_B}{\tau}\right). \quad (5.21)$$

3. Выбирается значение коэффициента намагничивания m , который представляет собой отношение удельной энергии намагничивания к удельной передаваемой энергии или отношение тока намагничивания в конце импульса к току через нагрузку. Этот коэффициент зависит от допустимого спада вершины импульса $\frac{\Delta U}{U}$, от отношения внутреннего сопротивления источника к сопротивлению нагрузки $\frac{R_i}{R_n}$, а также от значения желаемой крутизны фронтов выходного импульса τ_{ϕ} .

$$m \leq \frac{\Delta U}{U} \left(1 + \frac{R_n}{R_i}\right), \quad (5.22)$$

$$\frac{\tau}{\tau_{\phi}} = \frac{m\mu_{\Delta}}{3}. \quad (5.23)$$

величины. На графике через точку с координатами (d, μ_Δ) проводится наклонная прямая до встречи ее с горизонтальной линией, проведенной через отметку на шкале ρ . Из этой точки затем проводится еще одна вертикальная прямая до встречи ее со шкалой τ_B , по которой определяется значение постоянной времени вихревых токов. Далее на шкале τ откладывается заданная длительность импульса. Через точки на шкалах τ_B и τ проводится прямая до встречи ее со шкалой $\frac{\tau}{\tau_B}$. На этой шкале сверху определяется значение $\frac{\Delta B_{\text{макс}}}{\Delta B_{\text{ср}}}$. После этого вычисляется $\Delta B_{\text{ср}}$.

2. Далее при помощи номограммы № 45 определяется объем стального сердечника и количество витков. Сначала определяется значение m . Если задано допустимое спадание вертушки импульса $\frac{\Delta U}{U}$ и отношение $\frac{R_n}{R_i}$, то пользуются шкалами 7, 8, 9, соединяя точки, отложенные на них, прямой линией. Если критерием должно служить отношение $\frac{\tau}{\tau_\phi}$, то пользуются шкалами 1, 2, 3 и по известной величине μ_Δ и отношению $\frac{\tau}{\tau_\phi}$, соединяя прямой линией отметки на этих шкалах, находят m на шкале 1. Затем через отметки на шкалах 1 и 2 проводится прямая до встречи с нижней шкалой $m\mu_\Delta$ правого графика. На шкалах 5 и 4 откладываются заданная импульсная мощность P и длительность импульса τ . Через отметки проводится прямая до пересечения ее с правой вертикальной шкалой. Через точку с координатами $(P\tau, m\mu_\Delta)$ проводят наклонную линию. Из точки на шкале $\Delta B_{\text{ср}}$ (левая вертикальная шкала этого графика) проводится горизонтальная прямая до пересечения ее с выбранной наклонной прямой. Точка пересечения проектируется на верхнюю шкалу графика, где и отсчитывается значение необходимого объема стального сердечника V . Далее по формуле (5.25) определяется одна из величин — $l_{\text{ср}}$ или S — по выбранной дугой.

3. Определяется количество витков первичной обмотки w_1 . Для этой цели на шкале 6 откладывается величина сечения сердечника S и проводится прямая через точку на этой шкале и на левой вертикальной шкале $\Delta B_{\text{ср}}$ правого графика номограммы. Отмечается точка пересечения этой прямой со шкалой $\Delta B_{\text{ср}} \cdot S$ левого графика. Затем на шкалах τ и U откладываются заданные величины, и на графике определяется точка с координатами (τ, U) . Через нее проводится наклонная прямая. Из полученной на шкале $\Delta B_{\text{ср}} \cdot S$ точки проводится горизонтальная прямая до встречи ее с наклонной линией на

Чем меньше величина m , тем лучше передаются фронты импульса (меньше τ_ϕ), но тем большим получается спадание верхушки импульса $\frac{\Delta U}{U}$. При этом также возрастает объем сердечника V и потери на намагничивание в нем. Для мощных трансформаторов верхним пределом величины m является значение $m = 0,1$. Для мало-мощных трансформаторов, где объем сердечника не является ограничивающим фактором, значение m может достигать величины 0,5 и выше.

4. Объем железа V определяется по формуле

$$V = \frac{P \tau m \mu_\Delta}{10 \Delta B_{\text{ср}}^2}, \quad (5.24)$$

а затем выбирается площадь поперечного сечения сердечника S (в соответствии с выбранным штампом стали или из конструктивных соображений при использовании ленточной стали) и определяется длина магнитного пути в стали

$$l_{\text{ср}} = \frac{V}{S}. \quad (5.25)$$

5. Далее определяется количество витков первичной обмотки

$$\omega_1 = \frac{100 \cdot U_1 \tau}{S \Delta B_{\text{ср}}} \quad (5.26)$$

и количество витков вторичной обмотки

$$\omega_2 = n \omega_1. \quad (5.27)$$

При этом следует учитывать, что повышающие трансформаторы, имеющие $n > 4$, плохо воспроизводят импульс, так как паразитная емкость схемы, пересчитанная в первичную обмотку, имеет в этом случае слишком большое значение и сильно ухудшает форму импульсов. Практически $n > 4$ не делается. Для уменьшения паразитных емкостей обмоток их делают однослойными и плотнонамотанными. Для уменьшения индуктивности рассеяния вторичную обмотку располагают непосредственно на первичной. При этом условия распределенная емкость обмоток получается малой и ею в расчетах можно пренебречь.

С помощью номограмм №№ 44 и 45, построенных по формулам (5.20)—(5.24) и (5.26) и с учетом замечаний о выборе τ_ϕ и n , можно достаточно точно произвести расчет импульсного трансформатора. В формулах и в номограммах величины имеют следующие размерности $\Delta B_{\text{ср}}$ и $\Delta B_{\text{макс}}$ — кГс, ρ — ом.мм²/м, d — толщина листа стали, мм, τ — мксек, U — амплитуда напряжения импульса, кВ, V — см³, S — см², $l_{\text{ср}}$ — см, P — кВт.

Правила пользования номограммами сводятся к следующему.

1. С помощью номограммы № 44 определяется вихревая постоянная времени τ_v . На шкалах d и μ_Δ откладываются заданные

графике. Полученная таким образом точка на наклонной прямой проектируется на нижнюю шкалу этого графика, где и отсчитывается искомое число витков w_1 .

Пример.

Рассчитать импульсный трансформатор, предназначенный для передачи импульса длительностью $\tau = 1$ мксек мощностью $P = 2000$ квт. Напряжение на первичной обмотке равно $U = 30$ кв. Коэффициент трансформации $n = 1$. $\frac{R_n}{R_i} = 1$. Материалом сердечника должна служить стальная лента толщиной $d = 0,06$ мм. Для выбранной стали можно взять $\Delta B_{\text{макс}} = 8000$ гс, кроме того известно, что $\rho = 0,5$ ом.мм²/м и $\mu_{\Delta} = 740$. Спадание верушки импульса $\frac{\Delta U}{U}$ не должно превышать 2,5%. Из номограммы № 44 получаем $\tau_B = 0,53$ мксек $\frac{\Delta B_{\text{макс}}}{\Delta B_{\text{ср}}} = 1,53$. Откуда вычисляем $\Delta B_{\text{ср}} = \frac{8000}{1,53} = 5200$ гс. Из номограммы № 45 находим $V = 274$ см³ $m = 0,05$. Выбираем $S = 10$ см², тогда $l_{\text{ср}} = 27,4$ см. Количество витков $w_1 = w_2 = 58$. При $m = 0,05$ длительность фронтов составляет около 8% от длительности импульса.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

ПЕРЕДАЮЩИЕ ЛИНИИ

НОМОГРАММА № 46

6.1. ВОЛНОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

С помощью номограммы № 46 можно определять волновое сопротивление двухпроводной линии и коаксиальной линии с диэлектриком, предполагая при этом, что потери в линии малы и волновое сопротивление имеет чисто активный характер. Номограмма построена по формулам

$$Z_d = 276 \lg \left(\frac{2D_d}{d} \right), \quad (6.1)$$

$$Z_k = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \lg \left(\frac{D_k}{d} \right), \quad (6.2)$$

где Z_d — волновое сопротивление двухпроводной линии, *ом*; Z_k — волновое сопротивление коаксиальной линии, *ом*; d — диаметр проводов двухпроводной линии и диаметр внутреннего проводника коаксиальной линии, *мм*; D_d — расстояние между осями проводов, *мм*; D_k — диаметр внешнего проводника коаксиальной линии, *мм*; ϵ — диэлектрическая проницаемость.

Для определения волнового сопротивления нужно отложить на шкалах D_d и d или D_k и d заданные величины и соединить эти отметки прямой линией. В месте пересечения прямой со шкалой Z_d и $Z_{к0}$ отсчитать ответ — волновое сопротивление для воздушной линии.

Если коаксиальная линия имеет заполнитель с диэлектрической постоянной ϵ , то через отметку на шкале $Z_{к0}$, соответствующую волновому сопротивлению воздушной линии и через отметку на шкале ϵ , соответствующую диэлектрической проницаемости запол-

нителю, проводится прямая до пересечения со шкалой Z_k , на которой определяется ответ.

Если диэлектрик имеет форму шайб, то вместо ϵ в номограмму подставляется приведенное значение диэлектрической проницаемости, определяемое из формулы

$$\epsilon = \frac{\epsilon_1 t + s}{t + s}. \quad (6.3)$$

Здесь t — толщина шайбы, s — расстояние между соседними шайбами, ϵ_1 — диэлектрическая проницаемость материала шайб.

Пример.

Определить волновое сопротивление линии, имеющей диаметр проводников $D_k = 10$ мм и $d = 2,4$ мм. Внутренний проводник поддерживается шайбами из керамики, имеющей $\epsilon_1 = 7$ и толщину $t = 5$ мм. Шайбы расположены на расстоянии $s = 10$ мм друг от друга. Вычисляем $\epsilon = \frac{7 \cdot 5 + 10}{5 + 10} = 3$. Откладываем заданные величины на шкалах и получаем $Z_0 = 50$ ом.

НОМОГРАММА № 47

6.2. АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Сопротивление потерь или сопротивление коаксиальной линии токам высокой частоты определяется поверхностным эффектом в проводниках линии и зависит от частоты и размеров линии. Для медных проводников оно может быть вычислено по формуле

$$R_m = 83,2 \cdot \sqrt{f} \cdot \frac{1}{D} \left(\frac{D}{d} + 1 \right). \quad (6.4)$$

Здесь R_m — активное сопротивление медной линии токам высокой частоты, ом. f — частота, мГц. d — диаметр внутреннего проводника, мм. D — внутренний диаметр внешнего проводника, мм.

Сопротивление линии из материала, имеющего удельное сопротивление ρ , отличное от удельного сопротивления меди, вычисляется по формуле

$$R = 7,65 \cdot R_m \sqrt{\rho}. \quad (6.5)$$

Номограмма № 47 построена по формулам (6.4) и (6.5).

Для определения волнового сопротивления величины $\frac{D}{d}$ и D откладываются на соответствующих шкалах и отметки соединяются прямой линией 1. На шкале f откладывается заданное значение частоты. Прямой 2 эта точка соединяется с точкой, полученной

в результате пересечения прямой 1 со вспомогательной осью. На шкале R_m читается значение сопротивления линии для медных проводников. Если проводники имеют другое удельное сопротивление, то точка на шкале R_m соединяется прямой 3 с отметкой на шкале ρ и в месте пересечения этой прямой со шкалой R читается ответ.

Пример.

Коаксиальная линия имеет проводники, диаметры которых соответственно равны $D = 20$ мм и $d = 10$ мм. Линия выполнена из латуни с удельным сопротивлением $\rho = 0,0627$ ом·мм²/м. Частота равна $f = 100$ мгц. Из номограммы находим $\frac{D}{d} = 2$ и $R = 240$ ом/км в то время как для медной линии сопротивление составляло бы $R_m = 125$ ом/км.

НОМОГРАММА № 48

6.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ДЛИНА ПЕРЕДАЮЩЕЙ ЛИНИИ

Электрическая длина передающей линии зависит от ее геометрической длины l и длины волны в линии λ . Номограмма построена по следующей формуле:

$$\varphi^\circ = \frac{360 \cdot l}{\lambda}, \quad (6.6)$$

где l и λ в одинаковых единицах.

Для нахождения электрической длины линии отметки на шкалах l и λ соединяются между собой прямой линией. Ответ находится в месте пересечения этой прямой со шкалой φ . Если длина линии больше длины волны, то из нее надо вычесть столько длин волн, чтобы остаток оказался меньше длины волны.

Пример.

Линия длиной $l = 4,17$ см имеет на частоте $f = 600$ мгц ($\lambda = 50$ см) электрическую длину $\varphi = 30^\circ$.

НОМОГРАММА № 49

6.4. ПЕРЕСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОТЕРЬ В ЛИНИИ В ЗАТУХАНИЕ (В ДЕЦИБЕЛАХ НА ЕДИНИЦУ ДЛИНЫ)

Номограмма № 49 соответствует формуле

$$\beta = \frac{R}{0,23Z_0} \quad (6.7)$$

и позволяет производить пересчет сопротивления потерь в линии в затухание, выраженное в дБ км. В этой формуле R — сопротивление потерь в линии, ом/км. Z_0 — волновое сопротивление, ом. β —

затухание в линии, дб/км . Для определения затухания отметки на шкалах R и Z_0 соединяются между собой прямой линией и на шкале β читают значение затухания.

Пример.

$R = 230 \text{ ом/км}$, $Z_0 = 100 \text{ ом}$. Затухание такой линии будет равно $\beta = 10 \text{ дб/км}$.

НОМОГРАММА № 50

6.5. ИЗМЕНЕНИЕ ФАЗЫ ТОКА ВДОЛЬ ЛИНИИ

Номограмма № 50 построена по формуле, связывающей сдвиг фазы тока в конце линии (по отношению к току в начале ее) ψ и волновое сопротивление Z_0 с нагрузкой линии R_n и ее электрической длиной $\frac{2\pi l}{\lambda}$. Предполагается чисто активная нагрузка

$$\psi = \arctg \left[\frac{R_n}{Z_0} \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right) \right]; \quad (6.8)$$

здесь, кроме уже отмеченных величин, λ — длина волны в линии, l — геометрическая длина линии.

Для нахождения сдвига фазы необходимо отложить на левой шкале отношение нагрузочного сопротивления к волновому, а на правой шкале — электрическую длину $\varphi = \frac{2\pi l}{\lambda}$ в градусах, найденную, например, из номограммы № 48. Отметки соединяют прямой и на шкале ψ читают ответ.

Пример.

Линия с волновым сопротивлением $Z_0 = 50 \text{ ом}$ имеет длину $l = 4,17 \text{ см}$. Линия нагружена на сопротивление $R_n = 100 \text{ ом}$. Длина волны равна $\lambda = 50 \text{ см}$. Вычисляем $\frac{R_n}{Z_0} = 2$ и $\frac{2\pi l}{\lambda} = 30^\circ$. По этим данным из номограммы получаем $\psi = 49^\circ$. Следует помнить, что фаза изменяется вдоль линии на 90° через каждый отрезок длиной в четверть волны.

НОМОГРАММА № 51

6.6. СОПРОТИВЛЕНИЕ ОТРЕЗКА ЛИНИИ

Входное сопротивление отрезка линии при резонансе токов — $Z_{\text{вх}}$ зависит от волнового сопротивления Z_0 и сопротивления потерь в линии. Правая часть номограммы № 51 построена по следующей формуле:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{2 \cdot Z_0^2}{R}. \quad (6.9)$$

Наименьшая длина линии при резонансе токов для короткозамкнутой линии равна четверти длины волны. При этом входное сопротивление будет иметь максимальное значение. Для разомкнутой полуволновой линии входное сопротивление будет вдвое меньше, так как сопротивление потерь в ней вдвое больше.

Для определения входного сопротивления необходимо отложить на шкалах R и Z правой части номограммы № 51 заданные значения сопротивления потерь R и волнового сопротивления Z_0 линии, соединить эти отметки прямой и в месте ее пересечения со шкалой $Z_{вх}$ прочесть ответ.

Пример.

Сопротивление потерь отрезка латунной линии длиной 1 м равно $R=0,241$ ом. Волновое сопротивление составляет $Z_0=41$ ом. Номограмма дает значение входного сопротивления $Z_{вх}=14\,000$ ом.

Реактивное сопротивление отрезка линии зависит от его длины и от того, разомкнут или короткозамкнут этот отрезок. Оно также зависит и от волнового сопротивления линии Z_0 . Для короткозамкнутого отрезка линии с длиной меньше четверти волны реактивное сопротивление носит индуктивный характер и определяется по формуле (абсолютная величина)

$$X_{вх} = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right). \quad (6.10)$$

Для разомкнутой линии длиной меньше четверти длины волны реактивное сопротивление имеет емкостной характер и выражается (абсолютная величина) формулой

$$X_{вх} = Z_0 \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right). \quad (6.11)$$

Здесь Z_0 — волновое сопротивление, ом; l — геометрическая длина линии; λ — длина волны в линии, в тех же единицах, что и l . В случае, если линия заполнена диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ , вместо l нужно пользоваться величиной $l\sqrt{\epsilon}$.

В зависимости от того, разомкнута или замкнута линия, нужно пользоваться на шкале $\frac{l}{\lambda}$ соответственно обозначенными делениями. На первой слева шкале левой части номограммы откладывается величина волнового сопротивления Z_0 . На шкале $\frac{l}{\lambda}$ откладывается известное отношение. Точки на шкалах соединяются прямой. Ответ находится на шкале $X_{вх}$ в месте ее пересечения с прямой.

Пример.

Короткозамкнутая воздушная линия с волновым сопротивлением, равным $Z_0=50$ ом, имеет длину $l=15$ см. Длина волны равна $\lambda=75$ см. Находим $\frac{l}{\lambda}=0,2$. Для этих величин номограмма дает $X_{вх}=154$ ом. Это сопротивление носит индуктивный характер.

6.7. ЧЕТВЕРТЬВОЛНОВЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Номограмма предназначена для расчета четвертьволнового трансформатора для согласования линий с различными волновыми сопротивлениями при условии, что входное сопротивление таких линий чисто активно. Номограмма построена по формуле

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 Z_2}, \quad (6.12)$$

где Z_0 — волновое сопротивление четвертьволнового трансформатора, ом; Z_1 — волновое сопротивление линии, подключенной с одной стороны к трансформатору, ом; Z_2 — волновое сопротивление линии, подключенной к трансформатору с другой стороны, ом.

Для определения волнового сопротивления трансформатора соединяют прямой линией отметки на шкалах Z_1 и Z_2 . В месте пересечения этой прямой со шкалой Z_0 читают ответ.

Пример.

Линии с волновыми сопротивлениями $Z_2 = 320$ ом и $Z_1 = 50$ ом согласуются с помощью четвертьволнового трансформатора с волновым сопротивлением $Z_0 = 127$ ом. Эта же номограмма может быть использована в случае, если требуется вычислить среднее геометрическое двух величин. В этом случае эти величины откладываются на осях Z_1 и Z_2 . Среднее геометрическое определяется по шкале Z_0 в точке пересечения ее с прямой.

6.8. ДОБРОТНОСТЬ КООКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ КАК КОНТУРА

Номограмма № 53, предназначенная для определения добротности коаксиальной линии, работающей в качестве контура генератора или усилителя, составлена по формуле, справедливой для медной линии

$$Q = 0,0839 \frac{D}{2} \sqrt{f} \frac{\ln \frac{D}{a}}{\left(\frac{2}{D} + \frac{2}{a}\right)}, \quad (6.13)$$

где Q — добротность коаксиальной линии, $\frac{d}{2}$ — радиус внутреннего проводника, см; $\frac{D}{2}$ — внутренний радиус внешнего проводника, см; f — частота колебаний, гц.

Для определения Q необходимо отложить сначала известные значения f и $\frac{D}{2}$ на соответствующих шкалах и провести через эти отметки прямую до встречи ее со вспомогательной осью. Далее вычисляют отношение $\frac{D}{a}$ и откладывают его на соответствующей шкале. Проводят прямую через эту отметку и точку на вспомогательной шкале. В месте пересечения второй прямой со шкалой Q читают ответ.

Пример.

Линия работает в качестве контура на частоте $f = 3000$ мГц. Размеры ее равны: $d = 10$ мм и $\frac{D}{2} = 10$ мм. Находим $\frac{D}{d} = 2$, а затем из номограммы $Q = 3800$.

Если линия выполнена не из меди, а из другого материала, то найденное из номограммы значение Q необходимо умножить на $\sqrt{\frac{\rho_m}{\rho}}$. Здесь ρ_m — удельное сопротивление меди, ρ — удельное сопротивление материала линии, в одинаковых единицах. Для этого могут быть использованы шкалы R (на которой откладывается Q медной линии), ρ и R_m (на которой получается Q линии из данного металла) номограммы № 47.

НОМОГРАММА № 54

6.9. ЛИНИЯ, НАГРУЖЕННАЯ НА ЕМКОСТЬ

При использовании короткозамкнутой линии в качестве высокочастотного контура ее электрическую длину можно укоротить путем включения небольшой емкости на ее разомкнутом конце. В этом случае величина укорачивающей емкости связана с параметрами линии и частотой колебаний следующей формулой:

$$\frac{1}{2\pi f C} = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi f}{c} \right) l, \quad (6.14a)$$

которую можно переписать в следующей форме:

$$F_1(l, f) = F_2(Z_0, C). \quad (6.14б)$$

Здесь $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек — скорость света.

По формуле (6.14a) построена номограмма № 54, позволяющая рассчитывать короткозамкнутую линию, нагруженную на емкость. Из номограммы можно определять любую из четырех величин C , f , l и Z_0 по заданным трем из них.

Поясним на примере правило пользования номограммой.

Пример.

Найти значение укорачивающей емкости для короткозамкнутой линии длиной 10 см с волновым сопротивлением $Z_0 = 50\text{ ом}$, нагруженной на частоту $f = 400\text{ мГц}$. Находим на номограмме точку

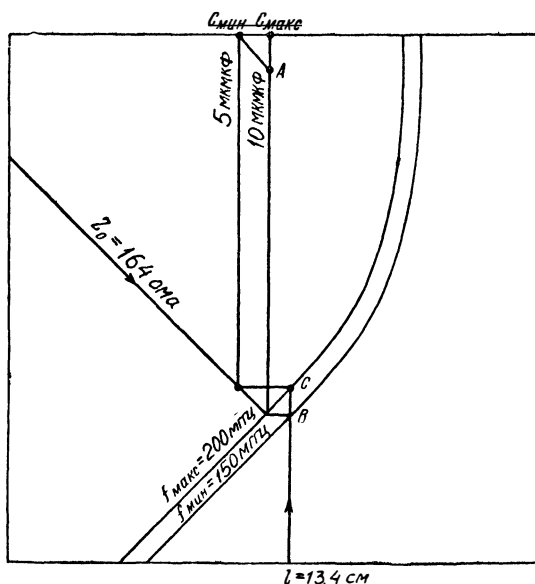


Рис. 9. Определение параметров линии, нагруженной на емкость, при заданных перекрытиях по емкости и по частоте.

с координатами $l = 10\text{ см}$ и $f = 400\text{ мГц}$. При этом геометрическую длину линии отсчитываем на горизонтальной шкале, а частоту на семействе кривых. Через найденную точку проводим горизонтальную линию до пересечения ее с прямой, соответствующей $Z_0 = 50\text{ ом}$ в семействе наклонных прямых линий. Через эту вторую точку пересечения проводим вертикальную линию и на верхней шкале номограммы читаем значение емкости $C = 7\text{ мкмкф}$.

С помощью этой номограммы можно решать и более сложные задачи.

Пример.

Линия настраивается в диапазоне частот от 150

до 200 мГц с помощью переменного конденсатора, емкость которого при этом изменяется от 10 до 5 мкмкф . Определить, какова должна быть длина линии и ее волновое сопротивление.

Задача решается при помощи номограммы следующим образом (см. рис. 9).

На номограмме выделяются вертикальные линии, соответствующие $C_{\text{мин}}$ и $C_{\text{макс}}$ и кривые, соответствующие $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{макс}}$. Через точку $C_{\text{мин}}$ проводится прямая, параллельная линиям Z до пересечения с линией $C_{\text{макс}}$ (точка A). Циркулем измеряется расстояние $AC_{\text{макс}}$ и на номограмме подбирается такое значение l , чтобы при этом расстояние по вертикали между кривыми $f_{\text{мин}}$ и $f_{\text{макс}}$ было равно величине $AC_{\text{макс}}$ (точки B и C). Теперь от этих точек проводятся горизонтали до пересечения соответственно с линиями $C_{\text{макс}}$ и $C_{\text{мин}}$. Эти точки будут лежать на одной линии Z_0 . Для нашей задачи решение будет: $Z_0 = 164\text{ ом}$ и $l = 18,4\text{ см}$.

6.10. МАКСИМАЛЬНЫЙ ГРАДИЕНТ ПОТЕНЦИАЛА В КОАКСИАЛЬНОЙ ЛИНИИ

Максимальный градиент потенциала в коаксиальной линии определяется следующим соотношением:

$$U_{\text{макс}} = \frac{1198 \cdot E}{Z_0 d}. \quad (6.15)$$

Здесь E — эффективное напряжение, v ; d — диаметр внутреннего проводника, $мм$; Z_0 — волновое сопротивление линии, $ом$. Для определения градиента потенциала заданные величины откладываются на шкалах d и Z_0 и соединяются прямой линией. Отмечается точка пересечения этой прямой со вспомогательной осью. Через эту точку и отметку на шкале E проводится прямая. На продолжении ее, в месте пересечения со шкалой $U_{\text{макс}}$ находится ответ.

Пример.

Линия с волновым сопротивлением $Z_0 = 65 \text{ ом}$, имеющая диаметр внутреннего проводника $d = 6,5 \text{ мм}$, подключена к источнику колебаний с эффективным значением напряжения $E = 2000 \text{ в}$. Номограмма дает значение градиента напряжения в линии $U_{\text{макс}} = 5650 \text{ в/см}$.

6.11. УМЕНЬШЕНИЕ К. С. В. ВСЛЕДСТВИЕ ПОТЕРЬ В ЛИНИИ

Если в линии имеют место потери, то к. с. в., измеренный у нагрузки в конце линии r_2 , и к. с. в. н., измеренный в начале линии у генератора r_1 , не будут равны между собой. Эти две величины и потери в линии связаны между собой следующим образом:

$$\beta = 10 \lg \left[\frac{(r_2 + 1)(r_1 - 1)}{(r_2 - 1)(r_1 + 1)} \right] | \text{ дб} |. \quad (6.16)$$

По этой формуле построена номограмма № 56. Для нахождения одной из величин откладывают другие на соответствующих шкалах и соединяют отметки прямой линией. В месте пересечения этой прямой со шкалой, содержащей неизвестную величину, читают ответ.

Пример.

Найти к. с. в. вблизи нагрузки, если к. с. в., измеренный у генератора, равен $r_1 = 1,1$. Затухание в линии равно $\beta = 6 \text{ дб}$. Номограмма № 56 дает $r_2 = 1,47$.

6.12. К. П. Д. ПРИ РАССОГЛАСОВАНИИ В ЛИНИЯХ

Номограмма № 57 позволяет определить к. п. д. линии передачи, если известен к. с. в. н., измеренный вблизи нагрузки, и затухание в линии. Номограмма построена по следующим формулам:

$$\eta_0 = \frac{2 \operatorname{sh} 2\beta_n}{e^{(2\beta_n + 2\beta_n)}}, \quad (6.17)$$

$$\eta = \frac{\operatorname{sh} 2\beta_n}{\operatorname{sh} (2\beta_n + 2\beta_n)}, \quad (6.18)$$

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 - e^{-(4\beta_n + 4\beta_n)}}, \quad (6.19)$$

где $\beta_n = \operatorname{arc} \operatorname{cthr}$.

Здесь β_n — потери в линии, $\partial\delta$; η_0 — к. п. д. (или коэффициент передачи мощности) линии с потерями при согласовании генератора с линией; η — действительный к. п. д. (или коэффициент передачи мощности) линии с потерями; η — есть отношение мощности, выделяемой в нагрузке, к мощности, поступающей на вход линии. Эта величина не зависит от согласования генератора с линией. r — коэффициент стоячей волны напряжения, измеренный вблизи нагрузки.

Номограмма № 57 позволяет по известным значениям r и β_n определить величину к. п. д. в линии η для случая, когда генератор согласован с линией. Заданные величины r и β_n откладываются на шкалах 1 и 4 и отметки соединяются прямой линией. Если при этом пользовались шкалами, помеченными А, то ответ находится на шкале 2, помеченной также А. Если употреблялись шкалы Б, то ответ находится на шкале 3, помеченной также Б. Номограмма позволяет по заданным величинам r и β_n найти выигрыш в линии, который получится при передаче мощности в случае согласования генератора с нагрузкой. Заданные величины r и β_n откладываются на шкалах 5 и 7, и точки соединяются прямой линией. Ответ получается на шкале 6 в месте пересечения ее с прямой. Для определения действительного к. п. д. в линии η (без учета согласования генератора с линией) величина r откладывается на шкале 9, а величина β_n — на одной из наклонных шкал 10. Через эти отметки проводится прямая и на шкале 8 отсчитывается η . При этом, чтобы правильно выбрать шкалы, надо руководствоваться табличкой, помещенной под шкалами 10 номограммы. Например, если r откладывается на шкале 9, помеченной А, то величину β_n следует откладывать на наклонных шкалах 10, помеченных АВ или АГ. В первом случае ответ читают на шкале 8, помеченной В, во втором случае — на шкале 8, помеченной Г.

Пример.

Передающая линия с затуханием $\beta_{\lambda} = 0,5$ дБ питает антенну. При этом к. с. в. н. в линии равен $r = 2$. Определить, какой процент мощности передатчика попадет при этом в антенну, если: 1) выходное сопротивление генератора равно волновому сопротивлению линии и 2) если выходное сопротивление генератора согласовано со входом нагруженной линии.

Номограмма дает $\eta_0 = 0,793 = 79,3\%$. При этом все величины отсчитываем на шкалах, помеченных А. Определяем $\frac{\eta}{\eta_0} = 1,1$. Находим $\eta = 0,874 = 87,4\%$. В этом случае откладываем r на шкале **9Б** и β_{λ} на шкале **10БГ**. Ответ читаем на шкале **8Г**. Величину $\eta_{\text{макс}}$ получаем из номограммы в предположении, что к. с. в. н. равен единице.

$$\eta_{\text{макс}} = 0,892 = 89,2\%.$$

НОМОГРАММА № 58

6.13. РАСЧЕТ ШЛЕЙФОВ НАГРУЖЕННОЙ ЛИНИИ

С помощью номограммы № 58 можно определять длину шлейфа и расстояние от нагрузки до точки его включения. Номограмма построена по формулам

$$l_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R}{Z_0}}; \quad l'_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \left(-\sqrt{\frac{R}{Z_0}} \right) \quad (6.20)$$

$$l_2 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{Z_0 R}{R - Z_0}}; \quad l'_2 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{Z_0 R}{Z_0 - R}} \quad (6.21)$$

$$l_1 + l'_1 = l_2 + l'_2 = \frac{\lambda}{2}. \quad (6.22)$$

Здесь Z_0 — волновое сопротивление линии, ом; R — сопротивление нагрузки, ом; λ — длина волны в линии; l_1, l_2, l'_1, l'_2 — обозначенные на номограмме размеры в тех же единицах, что и длина волны. На чертеже номограммы изображен участок линии длиной в полволны и показаны места включения шлейфов настройки.

Для определения всех размеров на нижних горизонтальных шкалах номограммы откладываются величины R и Z_0 . Через отметки проводится прямая до пересечения с осью абсцисс графика. Из этой точки проводится вертикальная прямая до встречи ее с кривой, соответствующей искомому размеру. Затем проводится горизонтальная прямая до пересечения ее со шкалой $\frac{l}{\lambda}$ (правый край графика).

На наклонной шкале откладывается длина волны λ (или частота f). Через эту точку и уже отмеченную точку на правом краю графика проводится прямая до пересечения ее со шкалой l (с правой стороны номограммы), на которой определяется значение искомого размера.

Пример.

Линия с волновым сопротивлением $Z_0 = 200$ ом нагружена на антенну, имеющую сопротивление $R = 300$ ом. Частота излучения равна $f = 150$ мгц. Найти, на каком расстоянии от антенны нужно включить в линию шлейф, чтобы согласовать линию с антенной. Определить длину шлейфа. На графике пользуемся кривыми l_1 и l_2 . Номограмма дает ответ: шлейф длиной $l_2 = 38$ см должен быть присоединен на расстоянии $l_1 = 28$ см от антенны. (Или $l'_1 = 72$ см и $l'_2 = 62$ см).

НОМОГРАММА № 59

6.14. ЗАТУХАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫХ ОСЛАБИТЕЛЕЙ

Суммарное затухание цепочки, состоящей из двух последовательно соединенных ослабителей, можно вычислить по формуле

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 + \epsilon_2 = \beta_1 + \beta_2 + 20 \lg [1 \pm \Gamma'_2 \cdot \Gamma''_1]. \quad (6.23)$$

В этой формуле: β_1 — затухание 1-го ослабителя, *дб*, β_2 — затухание 2-го ослабителя, *дб*, Γ'_2 — коэффициент отражения от первого ослабителя в месте его соединения со вторым при согласованном входе первого ослабителя. Γ''_1 — коэффициент отражения от второго ослабителя в месте соединения его с первым при согласованном выходе второго ослабителя. Член ϵ_2 в формуле (6.23) будет иметь величину, заключающуюся между двумя пределами, которые зависят от знака коэффициента отражения. Номограмма № 59 построена по формуле (6.24) и устанавливает эти пределы изменения поправочного затухания, обусловленного рассогласованием в месте соединения ослабителей.

$$20 \lg \left[1 + \frac{(r'_2 - 1)(r''_1 - 1)}{(r'_2 + 1)(r''_1 + 1)} \right] > \epsilon_2 > 20 \lg \left[1 - \frac{(r'_2 - 1)(r''_1 - 1)}{(r'_2 + 1)(r''_1 + 1)} \right] \dots (6.24)$$

Здесь r'_2 и r''_1 — к. с. в. н., соответствующие величинам Γ'_2 и Γ''_1 . Если количество последовательно соединенных ослабителей более двух, то следует определять затухание сначала для двух из них, а затем, считая два первых за один, найти затухание для суммы третьего

и этого эквивалентного первым двум. Поступая далее подобным образом, можно найти затухание всех последовательно соединенных ослабителей.

Пример.

Два последовательно соединенных ослабителя имеют затухания $\beta_1 = 10$ дб и $\beta_2 = 5$ дб соответственно. К. с. в. н. равны: $r_1'' = 1,5$ и $r_2' = 2$. Откладывая значения к. с. в. н. на крайних шкалах номограммы № 59 и соединяя точки прямой линией, прочтем на средней шкале в месте пересечения ее с прямой два предельных значения ϵ_2 . В нашем случае $\epsilon_{2\text{мин}} = \epsilon_{2\text{макс}} = 0,6$ дб. Поэтому общее затухание последовательно соединенных ослабителей равно $\beta = \beta_1 + \beta_2 + \epsilon_2 = 10 + 5 + 0,6 = 15,6$ дб.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ВОЛНОВОДЫ

НОМОГРАММА № 60

7.1. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЧАСТОТЫ В ПРЯМОУГОЛЬНОМ ВОЛНОВОДЕ ДЛЯ ВОЛН ТИПА $E_{m,n}$ И $H_{m,n}$.

Предельная волна $\lambda_{\text{пр}}$ для колебаний вида $E_{m,n}$ и $H_{m,n}$ в прямоугольном волноводе определяется с помощью формулы

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}, \quad (7.1)$$

Здесь b — ширина волновода, *см*; a — высота волновода, *см*; $\lambda_{\text{пр}}$ — предельная длина волны, *см*.

По этой формуле построена номограмма № 60. Для нахождения предельной волны на крайних шкалах откладываются размеры волновода, отнесенные к параметрам m и n , т. е. $\frac{a}{m}$ и $\frac{b}{n}$. Отметки соединяются прямой. В месте пересечения ее со средней шкалой читается ответ — предельная частота $f_{\text{пр}}$ и предельная длина волны $\lambda_{\text{пр}}$. Для волн и волноводов, размеры которых выходят за пределы шкал номограммы, может быть использован принцип подобия: все размеры волновода умножаются на множитель K вида 10^n (где n — любое как положительное, так и отрицательное целое). Полученное значение длины волны также умножается на этот множитель.

Пример.

Ширина волновода равна $b = 5$ *см*. Его высота составляет $a = 3,5$ *см*. В волноводе возбуждается волна H_n ($m = 1$, $n = 1$). Номограмма дает предельную частоту $f_{\text{пр}} = 5\,200$ *мггц* ($\lambda_{\text{пр}} = 5,76$ *см*).

Замечание. Номограмма не пригодна для вычисления предельных частот для волн вырожденных типов $E_{0,n}$ и $H_{0,n}$, т. е. для случаев $m=0$ и $n=0$.

НОМОГРАММА № 61

7.2. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЧАСТОТЫ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА

Для нахождения предельных частот (или длин волн) в круглом волноводе необходимо знать диаметр волновода и тип волны. Номограмма № 61 построена по формуле

$$\lambda_{\text{пр}} = \frac{\pi D}{\nu_{ni}}. \quad (7.2)$$

Здесь D — диаметр волновода, *см*; $\lambda_{\text{пр}}$ — предельная длина волны, *см*; ν_{ni} — корень бесселевой функции $J_n(x)=0$. Для определения предельной волны на шкале D откладывается значение диаметра волновода. На шкале *тип волны* выбирается соответствующий тип волны. Отметки на этих шкалах соединяются прямой линией и в месте пересечения ее со шкалой $f_{\text{пр}}$ читается ответ.

Пример.

Волна E_{01} в круглом волноводе диаметром $D=4,6$ *см* имеет предельную частоту $f_{\text{пр}}=5000$ *мгц* ($\lambda_{\text{пр}}=6$ *см*).

НОМОГРАММА № 62

7.3. ДЛИНА ВОЛНЫ В КРУГЛОМ ВОЛНОВОДЕ

Для определения длины волны в круглом волноводе существует следующая формула:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda \nu_{ni}}{\pi D}\right)^2}}. \quad (7.3)$$

Здесь Λ — длина волны в волноводе, *см*; λ — длина волны в свободном пространстве, *см*; D — диаметр волновода, *см*; ν_{ni} — корень бесселевой функции $J_n(x)=0$.

Номограмма № 62 построена по формуле (7.3) и дает отношение длины волны в воздухе к длине волны в волноводе для любого

типа волн как электрических, так и магнитных. Заданные величины λ и D откладывают на соответствующих шкалах. Через отметки проводят прямую линию до пересечения ее со вспомогательной осью. Из точки пересечения проводят прямую в точку шкалы *тип волны*, соответствующую выбранной волне. В месте пересечения этой прямой со шкалой $\frac{\lambda}{\Lambda}$ читают ответ.

Пример.

Какова будет длина волны в волноводе диаметром $D = 5$ см, если длина волны в воздухе равна $\lambda = 1$ см. В волноводе возбуждается волна типа H_{01} . Номограмма дает $\frac{\lambda}{\Lambda} = 0,97$. Следовательно, длина волны в волноводе $\Lambda = 1,03$ см.

НОМОГРАММА № 63

7.4. ПЛАВНЫЕ ВОЛНОВОДНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

При соединении волноводов с неодинаковыми поперечными сечениями применяются плавные волноводные переходы для того, чтобы уменьшить отражения в месте соединения их. Номограмма № 63 позволяет рассчитать переход для двух волноводов с равными широкими, но с неравными узкими стенками. Плавный переход характеризуется длиной L и углом раствора стенок 2θ . В случае, если размеры волноводов известны, то угол раствора можно определить из формулы

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{B' - B}{2L}, \quad (7.4)$$

где B и B' — размеры узких стенок, как показано на чертеже номограммы.

Если $\theta < 20^\circ$, то рассогласование, обусловленное переходом, может быть значительно уменьшено с помощью диафрагмы. Одна такая диафрагма, имеющая индуктивное влияние, помещается в узком конце перехода. Другая — емкостная — помещается в его широкой части. Размеры диафрагм d — индуктивной и D — емкостной зависят от длины волны в волноводе и от размеров волновода. Они определяются формулами

$$d = \frac{A}{2\pi} \sqrt{\frac{A \operatorname{tg} \theta}{2B}} \quad (7.5)$$

$$D = \frac{\Lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \theta}{\pi}}. \quad (7.6)$$

Здесь A — ширина широкой стенки волновода; B — ширина узкой стенки волновода; Λ — длина волны в волноводе. Она определяется

в свою очередь известной формулой, связывающей длину волны в воздухе и ширину широкой стенки волновода (для волн H_{01} и E_{01})

$$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2A}\right)^2}}. \quad (7.7)$$

Все размеры и длина волны должны быть в одинаковых единицах. Номограмма № 63 построена по формулам (7.4), (7.5) и (7.6). Для нахождения размеров индуктивной диафрагмы на шкалах номограммы № 63а откладываются соответствующие размеры A и B и через отметки проводится прямая линия. Затем на шкале θ откладывается заданное значение угла и проводится вторая прямая через эту точку и точку пересечения первой прямой со вспомогательной осью. Эта прямая пересекает шкалу d в точке, в которой отсчитывается ответ. Для нахождения размера емкостной диафрагмы на шкалах номограммы № 63б откладывается угол раствора θ или отношение $\frac{B' - B}{2L}$ и длина волны в волноводе Λ , найденная из формулы (7.7). Отметки соединяются прямой. В месте пересечения ее со шкалой D читается ответ.

Пример.

Согласовать два волновода на волне H_{01} , имеющих ширину узких стенок $B = 20$ мм и $B' = 40$ мм. Широкие стенки их равны $A = 20$ мм. Половина угла раствора $\theta = 10^\circ$. Длина волны в волноводе для данной частоты колебаний составляет $\Lambda = 13,2$ см. Для этого случая номограмма № 62 дает следующие размеры диафрагм $D = 4,8$ мм и $d = 0,94$ мм.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН И АНТЕННЫЕ СИСТЕМЫ

НОМОГРАММА № 64

8.1. НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ НА РАССТОЯНИИ ОТ ПЕРЕДАТЧИКА ДЛЯ У.К.В. ДИАПАЗОНА

Номограмма построена по формуле, выведенной для условий распространения радиоволн в свободном пространстве. Напряженность поля E_0 на расстоянии D от передатчика с антенной, имеющей к. н. д. G и излучающей мощность P , выражается формулой

$$E_0 = \frac{\sqrt{30PG}}{D}, \quad (8.1)$$

где E_0 — v/m ; P — $вт$; D — $м$.

Следует иметь в виду, что на больших расстояниях становится весьма заметным влияние земли.

Правила пользования номограммой. Прямой линией соединяются отметка на шкале D и отметка на шкале G . Отмечается точка пересечения этой прямой со вспомогательной осью. Через эту точку и отметку на шкале P проводится прямая до пересечения со шкалой E_0 . На этой шкале читается ответ.

Пример.

Найти напряженность поля на расстоянии $D = 20$ км от передающей антенны, имеющей $G = 50$ и излучающей мощность $P = 1\,000$ вт. Номограмма дает $E_0 = 60$ мв/м,

8.2. ЗАТУХАНИЕ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

Ультракотковолновый сигнал, проходя в свободном пространстве, ретерпеваеа ослабление, величина которого β для двух удаленных руг от друга антенн может быть рассчитана по формуле

$$\beta = 20 \lg \left(\frac{41,6 \cdot d \cdot f}{G} \right). \quad (8.2)$$

десь f — частота колебаний, *мгц*; d — расстояние между антеннами приемного и передающего пунктов, *км*; G — коэффициент направленного действия антенн в случае, если антенны одинаковы. Если приемная антенна отличается от передающей, то в формулу следует одставлять величину среднего геометрического* из коэффициентов аправленности антенн $G = \sqrt{G_{\text{пр}} G_{\text{пер}}}$. Номограмма построена по ормуле (8.2). Поясним на примере, как пользоваться номограммой.

Пример.

Найти ослабление сигнала между двумя трансляционными пунктами, разнесенными на расстояние $d = 32$ км. Антенны идентичны имеют коэффициенты направленности $G = 300$. Линия работает а частоте $f = 1500$ мгц. Точки, отмеченные на шкалах d и f , оединим прямой линией. Через точку пересечения этой прямой со спомогательной осью и точку $G = 300$ на шкале G проведем торую прямую линию, которая пересечет шкалу β в точке $= 78,5$ дб.

Осадки в атмосфере приводят к увеличению затухания. Их влияние можно учесть с помощью графика рис. 10, построенного на сновании теоретических данных.

Пример пользования графиком.

Найти добавочное затухание волн в атмосфере во время сильного ожда интенсивностью 50 мм/час между пунктами на расстоянии 0 км. Передача ведется на волне 3 см. График рис. 10 дает $= 1,4$ дб/км. Итак, затухание равно $1,4 \cdot 20 = 28$ дб.

3. ВЕЛИЧИНА ЗОНЫ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ ДЛЯ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

Максимальное расстояние, на котором может осуществляться адиопередача на ультракотковолнах, зависит от подъема антенн ад поверхностью земли. Это так называемый „радиус зоны прямой идимости“ может быть найден из формулы

* Для расчета среднего геометрического может быть использована номограмма № 52.

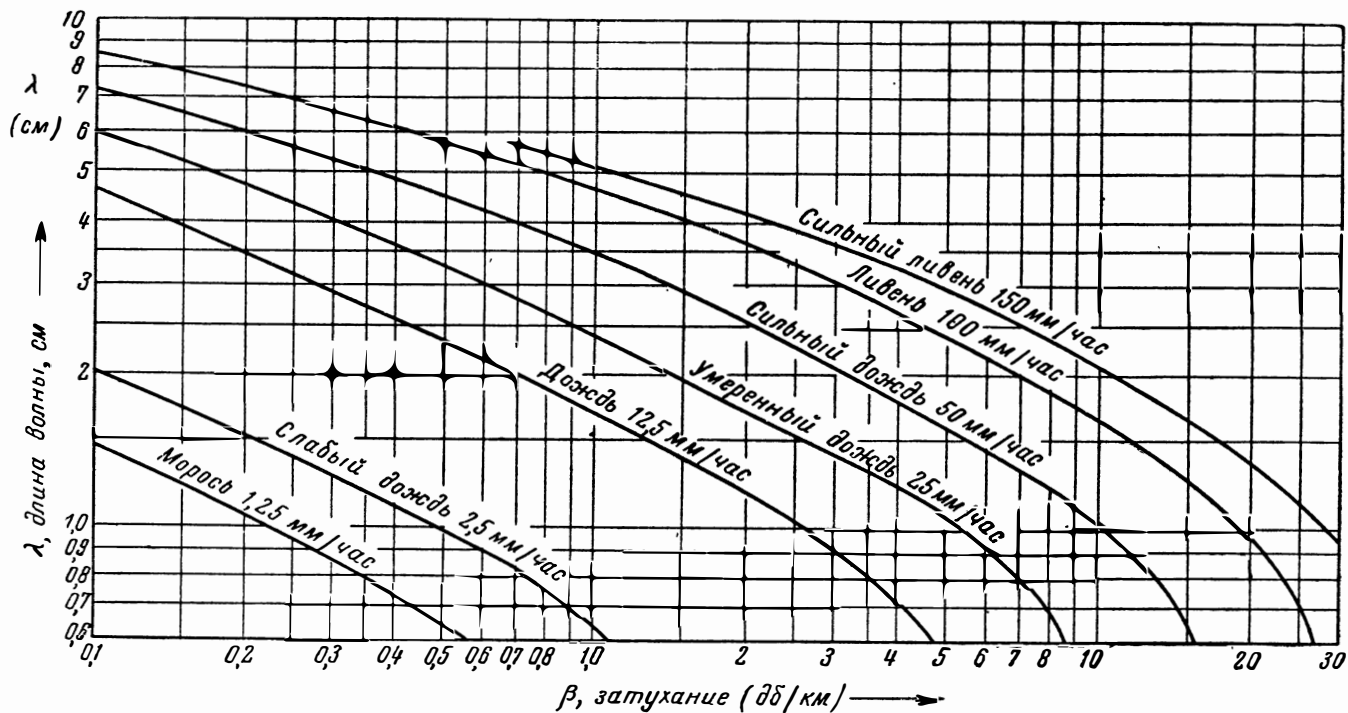


Рис. 10. Затухание сантиметровых волн в воздухе во время дождя.

$$D = \sqrt{R'} (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = 4,12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}). \quad (8.3)$$

Здесь D — зона прямой видимости, км; h_1 — подъем передающей антенны над землей, м; h_2 — подъем приемной антенны над землей, м; $R' = \frac{4}{3} R = 8\,500$ км — эквивалентный радиус земного шара, введенный для учета явления дифракции волн вблизи земли. Правила пользования номограммой, построенной по формуле (8.3), поясним примером.

Пример.

Вычислить зону прямой видимости для двух антенн, поднятых над землей на $h_1 = 35$ м и $h_2 = 90$ м. Откладываем для этого на наклонных шкалах заданные высоты h_1 и h_2 . Соединяем отметки прямой и на средней горизонтальной шкале читаем расстояние прямой видимости $D = 63$ км.

НОМОГРАММА № 67

8.4. РАДИУС ПЕРВОЙ ДИФРАКЦИОННОЙ ЗОНЫ ФРЕНЕЛЯ

Для того чтобы избежать отраженных и рассеянных сигналов при передаче ультракоротких волн и тем самым улучшить к. п. д. линии связи, трансляционные станции должны быть расположены так, чтобы земля или местные препятствия были удалены на некоторое расстояние от линии действительного распространения сигналов. Это расстояние в первом приближении должно быть не меньше радиуса первой зоны Френеля, проведенной в месте, где препятствие ближе всего подходит к линии действительного распространения волн. Номограмма позволяет определять радиус первой зоны Френеля и построена по формуле

$$\rho = \sqrt{\lambda D_s}, \quad (8.4)$$

где D_s — эквивалентное расстояние, равное $D_s = \frac{d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}$. Здесь d_1 — расстояние препятствия от передающей антенны, d_2 — расстояние препятствия от приемной антенны, ρ — радиус первой зоны Френеля.

Сначала определяется эквивалентное расстояние. Для этого можно воспользоваться номограммой № 14. На горизонтальной и вертикальной шкалах номограммы откладываются величины d_1 и d_2 , отметки соединяются прямой и в месте пересечения ее с наклонной шкалой отсчитывается D_s . Это значение переносится на третью слева шкалу левой части номограммы № 67. На левой крайней шкале откладывается значение частоты f (или длины волны λ), точки соединяются прямой и на шкале ρ в месте пересечения ее с этой прямой читается ответ.

Пример.

Линия связи работает на частоте $f = 7\,000$ мгц. Расстояние между пунктами равно $18,4$ км. Наибольшее препятствие расположено на расстоянии $d_1 = 4,8$ км от передающей и на расстоянии $d_2 = 13,6$ км от приемной антенны. Найти радиус первой зоны Френеля. Номограммы №№ 14 и 67 дают $D_p = 3,55$ км и $\rho = 12,3$ м.

НОМОГРАММЫ №№ 68 и 69

8.5. РАСЧЕТ КОЭФИЦИЕНТА НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ И ШИРИНЫ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН САНТИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Коэффициент направленного действия (к. н. д.) антенны G рассчитывается по формуле

$$G = \frac{4\pi k f^2 10^4}{c^2} S = \frac{\pi^2 D^2 f^2 k 10^4}{c^2}. \quad (8.5)$$

Здесь G — коэффициент направленного действия; S — площадь раскрытия антенны, $см^2$; f — частота, мгц; k — коэффициент использования поверхности (к. и. п.) антенны; c — скорость света, равная $3 \cdot 10^{10}$ см/сек; D — диаметр антенны (в случае круглых антенн), см; по формуле (8.5) построена номограмма № 68. Формула дает достаточно высокую точность, если размеры раскрытия много больше длины волны и колебания в плоскости раскрытия синфазны. Поясним на примере, как нужно пользоваться номограммой.

Пример.

Определить коэффициент усиления антенны с параболическим зеркалом, имеющим диаметр $D = 200$ см и коэффициент использования $k = 0,6$ на волне $\lambda = 3$ см ($f = 10\,000$ мгц). Отложим точку 200 см на правой нижней шкале графика (или точку S на верхней шкале) для случая, когда задана геометрическая площадь раскрытия. Выбираем на графике соответствующую наклонную прямую для заданной частоты. Отметим на прямой точку, соответствующую абсциссе 200 . Отложим на левой нижней шкале графика заданную величину $k = 0,6$ и проведем через нее вертикальную прямую. Спроектируем найденную ранее точку на графике на эту прямую. На вертикальной шкале G с левой стороны графика, соответствующей наклонным координатным линиям, прочтем ответ $G = 26\,400$. С помощью этой номограммы можно также приближенно определять ширину диаграммы направленности в точках половинной мощности. В случае, если уровень боковых лепестков невелик, ширину диаграммы направленности в точках половинной мощности можно найти по приближенной формуле

$$\theta = \sqrt{\frac{4\pi}{G}}, \quad (8.6)$$

которая выведена в предположении луча круглого сечения. Здесь θ — ширина диаграммы по половине мощности, G — к. н. д. Этой формуле соответствует крайняя левая шкала номограммы № 68. Для определения θ нужно провести горизонтальную линию от данного значения G до пересечения со шкалой θ .

Как известно, к. и. п. антенны k зависит от распределения поля в раскрыве ее (в предположении синфазности колебаний). С помощью графика, помещенного в нижнем правом углу номограммы № 69, можно, зная закон распределения поля в раскрыве, определить к. и. п. k и уровень первого бокового лепестка N в децибелах по сравнению с излучением в главном направлении. График построен для трех распределений поля в раскрыве антенны по следующим формулам.

1. Поле распределяется в прямоугольном отверстии по закону

$$f(x) = 1 - (1 - \Delta)x^2; \quad |x| < 1,$$

тогда обобщенная диаграмма направленности имеет выражение

$$g(u) = a \left[\frac{\sin u}{u} + (1 - \Delta) \frac{d^2}{du^2} \left(\frac{\sin u}{u} \right) \right], \quad (8.7)$$

где $u = \frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta$

и к. и. п. равен

$$K_1(\Delta) = \frac{(2 + \Delta)^2}{9 \left[1 - \frac{2}{3}(1 - \Delta) + \frac{1}{5}(1 - \Delta)^2 \right]}. \quad (8.8)$$

2. Поле распределяется в прямоугольном отверстии по закону

$$f(x) = \cos^2 \frac{\pi x}{2}, \quad |x| < 1,$$

тогда обобщенная диаграмма направленности имеет выражение

$$g(u) = \frac{2a}{\pi} \frac{n! \cos u}{\frac{n-1}{2}} \quad \text{для } n \text{ нечетных.} \quad (8.9)$$

$$\prod_{k=0} \left[(2k+1)^2 - \frac{4u^2}{\pi^2} \right]$$

$$g(u) = a \frac{n!}{\frac{n}{2}} \frac{\sin u}{u} \quad \text{для } n \text{ четных} \quad (8.10)$$

$$\prod_{k=1} \left[(2k)^2 - \frac{4u^2}{\pi^2} \right]$$

и к. и. п. равен

$$K_2(n) = \frac{4}{\pi^2} \left[\frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots (n-1)}{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots n} \right]^2 \left(\frac{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots (2n)}{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots 2n-1} \right) \quad \text{для } n \text{ нечетных} \quad (8.11)$$

$$K_2(n) = \left[\frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \dots (n-1)}{2 \cdot 4 \cdot 6 \dots n} \right] \left[\frac{(n+2)(n+4) \dots 2n}{(n+1)(n+3) \dots 2n-1} \right] \text{ для } n \text{ четных (8.12)}$$

3. Поле распределяется в круглом отверстии по закону $f(r) = (1 - r^2)^n$, где $r = \frac{2\rho}{D}$. D — диаметр отверстия, ρ — текущая координата. Тогда обобщенная диаграмма направленности имеет вид

$$g(u) = 2\pi \frac{D^2}{4} \int_0^1 (1 - r^2)^n J_0(ur) dr, \quad (8.13)$$

где $J_0(ur)$ — функция Бесселя.

Зная распределение поля в раскрыве антенны, можно определить точное значение к. и. п. k из нижнего графика номограммы № 69 и затем из номограммы № 68 найти к. н. д. G . Номограмма № 69 позволяет находить более точно также ширину диаграммы направленности θ по половинной мощности. Зная закон распределения поля в раскрыве, находят на верхнем графике номограммы соответствующую зависимость A_1 , A_2 или A_3 от Δ или от n и определяют величину A . Откладывают на левой шкале номограммы значение отношения $\frac{\lambda}{a}$ для прямоугольного отверстия (или $\frac{\lambda}{D}$ для круглого). Отметки на шкале $\frac{\lambda}{a}$ и A соединяют прямой линией и на шкале θ читают ответ — ширину диаграммы направленности по половинной мощности.

Пример.

Антенна с прямоугольным раскрывом имеет распределение $f(x) = 1 - (1 - \Delta)x^2$ и $\Delta = 0,5$. Найти к. н. д. G , ширину диаграммы направленности θ и уровень первого бокового лепестка N , а также к. и. п. антенны k , если площадь раскрыва равна $S = 500 \text{ см}^2$, $\lambda = 3 \text{ см}$ и $\frac{\lambda}{a} = 0,09$. Сначала находим к. и. п. и уровень бокового лепестка по номограмме № 69 на нижнем ее графике. Для $\Delta = 0,5$ к. и. п. $k_1 = 0,97$ и $N_1 = 17,6 \text{ дБ}$. Из верхнего графика этой номограммы для $\Delta = 0,5$ находим $A_1 = 0,97$, а затем для $\frac{\lambda}{a} = 0,09$ определяем $\theta = 5^\circ$. Зная S , k и λ , находим на номограмме № 68 к. н. д. $G = 680$.

НОМОГРАММА № 70

8.6. ДАЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Максимальной дальностью действия радиолокационной станции называется такое расстояние, на котором излученный передатчиком сигнал после его отражения от данного объекта может быть выделен индикатором станции на уровне ее собственных шумов. Максималь-

ная дальность определяется многими факторами, среди которых: мощность передатчика в импульсе, длительность импульса, коэффициент направленного действия приемной и передающей антенн, полоса пропускания приемника, шумфактор приемника, частота повторения импульсов, длина волны передатчика, эффективная отражающая поверхность объекта, затухание волн в атмосфере, влияние земли, коэффициент видимости индикатора и многие другие. Точная формула, учитывающая все эти факторы, громоздка и практически неудобна. Кроме того, числовые характеристики всех этих факторов получить с нужной точностью трудно, поэтому обычно пользуются приближенными формулами, учитывающими лишь важнейшие из этих факторов.

Номограмма № 70 построена по формуле, обеспечивающей достаточную для прикидочных расчетов точность для случая распространения волн без отражения от земли и без учета дифракции.

$$D = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} \cdot \lambda^2 \cdot G^2 \cdot S_{\text{э}}}{(4\pi)^3 \cdot P_{\text{мин}}}}. \quad (8.14)$$

В этой формуле: $P_{\text{и}}$ — импульсная мощность излученного сигнала, *вт*; λ — длина волны передатчика, *м*; $P_{\text{мин}}$ — минимальная мощность сигнала в *вт* на входе приемника, которую он способен обнаруживать (с учетом потерь в приемном тракте); G — коэффициент направленного действия антенны. (Если приемная и передающая антенны имеют различные коэффициенты направленного действия, то в формуле нужно использовать среднее геометрическое из этих коэффициентов $G = \sqrt{G_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пр}}}$); $S_{\text{э}}$ — эквивалентная отражающая поверхность объекта в м^2 ; D — максимальная дальность действия радиолокатора, *км*.

Таким образом номограмма позволяет по заданным величинам $P_{\text{и}}$, $P_{\text{мин}}$, G и $S_{\text{э}}$ определить максимальную дальность действия радиолокационной станции D . Для этого: 1) На шкалах $P_{\text{и}}$ и λ откладываются значения этих параметров. Через отметки проводится прямая до пересечения ее с 1-й вспомогательной осью α . 2) На шкалах $S_{\text{э}}$ и G откладываются заданные величины. Через эти точки проводится прямая линия до пересечения ее со 2-й вспомогательной осью γ . 3) Через точки на осях α и γ проводится прямая, которая пересечет 3-ю вспомогательную ось β . 4) На шкале $P_{\text{мин}}$ откладывается заданная величина и через эту точку и точку, полученную на 3-ей вспомогательной оси β , проводится прямая. На шкале D в месте ее пересечения с этой прямой отсчитывается значение максимальной дальности действия D .

Следует иметь в виду, что приведенная формула справедлива только для расстояния прямой видимости. Последнее можно определить по номограмме № 66.

Эквивалентная отражающая поверхность объектов зависит от характера объекта и от длины волны. Однако расчетным путем определить $S_{\text{э}}$ в большинстве случаев невозможно. В правой части

номограммы № 70 имеется координатная сетка, предназначенная для построения зависимостей $S_g = \varphi(\lambda)$. Такие зависимости, полученные опытным путем, читатель может самостоятельно нанести на номограмму для интересующих его объектов.

Пример.

Определить дальность действия радиолокационной станции с излученной импульсной мощностью $P_n = 250 \text{ квт}$, работающей на волне $\lambda = 3 \text{ см}$. Приемник имеет чувствительность $P_{\text{мин}} = 10^{-12} \text{ вт}$. Станция работает на одну антенну, имеющую $G = 1100$. Объект обладает эквивалентной отражающей поверхностью на волне 3 см , равной $S = 150 \text{ м}^2$. Номограмма № 70 дает в этом случае значение максимальной дальности $D = 66,5 \text{ км}$.

НОМОГРАММЫ №№ 71 и 72

8.7. РАСЧЕТ ВИБРАТОРНЫХ АНТЕНН

Номограмма № 71 позволяет производить расчет длины одиночного полуволнового вибратора, а также шлейф-вибратора Пистолькорса. Теория антенных систем показывает, что точное значение резонансной длины волны вибратора зависит от отношения длины волны к толщине вибратора. В верхней части номограммы № 71 приведен график для определения поправочного коэффициента k , на который нужно умножить длину волны λ , чтобы получить длину вибратора l . Этим же графиком следует пользоваться при расчете длины шлейф-вибратора Пистолькорса, показанного на той же номограмме внизу. Для приближенных вычислений можно считать, что $l = 0,5\lambda$. Более точно длину вибратора определяют по формуле

$$l = k\lambda. \quad (8.15)$$

Входное сопротивление простого одиночного вибратора R_0 равно 72 ом . Сопротивление шлейф-вибратора R_1 зависит от толщины его стержней и от расстояния между ними

$$R_1 = R_0 \left[1 + \frac{\lg \frac{2D}{d_1}}{\lg \frac{2D}{d_2}} \right]^2 \quad (8.16)$$

и может в несколько раз превосходить входное сопротивление простого полуволнового вибратора.

Номограмма № 71 позволяет определять поправочный коэффициент $K = \frac{R_1}{R_0}$, показывающий, во сколько раз входное сопротивление шлейф-вибратора больше входного сопротивления простого

полуволнового вибратора. Для определения этого коэффициента нужно задаться отношением диаметров стержней шлейф-вибратора и отношением расстояния между осями стержней к диаметру одного из стержней. Можно также задаться двумя отношениями $\frac{D}{d_1}$ и $\frac{D}{d_2}$.

Заданные величины откладываются на соответствующих шкалах номограммы, точки соединяют прямой и на наклонной шкале ищут ответ. Полученное значение K умножают на сопротивление простого полуволнового вибратора $R_0 = 72 \text{ ом}$, после чего получают значение входного сопротивления шлейф-вибратора R_1 . Номограмма позволяет решать и обратные задачи.

Пример 1.

Определить длину полуволнового вибратора, выполненного из металлической трубки диаметром 25 мм. Рабочая длина волны равна 1,5 м. Вычисляем отношение $\frac{\lambda}{2d} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 25} = 30$. Из графика номограммы № 71 находим $k = 0,475$. Следовательно, длина вибратора должна равняться $l = k\lambda = 0,475 \cdot 1500 = 712 \text{ мм}$.

Пример 2.

Входное сопротивление шлейф-вибратора должно равняться 430 ом. Определить его размеры. Задаемся отношением диаметров стержней вибратора $\frac{d_2}{d_1} = 3$. Вычисляем $K = \frac{430}{72} \approx 6$. Проводим на номограмме прямую через отметки на шкалах $K = 6$ и $\frac{d_2}{d_1} = 3$. В месте пересечения этой прямой с нижней шкалой отсчитываем значение $\frac{D}{d_1} = 17$. Принимая $d_1 = 10 \text{ мм}$, вычисляем $d_2 = 30 \text{ мм}$ и $D = 170 \text{ мм}$.

Номограмма № 72 содержит график для расчета сложных направленных антенн, а также крестообразных и уголкового ненаправленных антенн. Изображенные на номограмме № 72 антенны имеют различное входное сопротивление и неодинаковые коэффициенты направленного действия (к. н. д.), значения которых приведены в табл. 8.1. Антенны, показанные на номограмме, имеют в качестве активных элементов простые полуволновые вибраторы. Величина входного сопротивления в табл. 8.1 указана именно для этих случаев. Однако, если трудно согласовать питающую линию с малым входным сопротивлением антенны, то, применив вместо простого вибратора шлейф-вибратор Пистолькорса, можно значительно увеличить входное сопротивление антенны. Оно будет настолько больше, насколько сопротивление примененного шлейф-вибратора больше сопротивления простого полуволнового вибратора ($R_0 = 72 \text{ ом}$). Поправочный коэффициент для этого случая определяется по номограмме № 71.

Диаграммы направленности антенн в горизонтальной плоскости изображены на рисунках номограммы № 72. Антенны типов V и VII имеют в горизонтальной плоскости ненаправленные характеристики.

Входное сопротивление, к. н. д. и номера кривых на графике номограммы № 72, которыми следует пользоваться при определении размеров вибраторных антенн

Название антенны	Тип	Размеры антенн					Входное сопротивление (ом)	к. н. д. (дд)
		А	Б	В	Г	Д		
		следует определять по кривым						
Вибратор с рефлектором	I-a	№ 5	№ 1	№ 7	—	—	15	4,6
	I-б	№ 5	№ 3	№ 5	—	—	60	3,5
Антенна волновой канал из трех вибраторов	II-a	№ 5	№ 2	№ 6	№ 4	№ 1	10	8
	II-б	№ 5	№ 3	№ 5	№ 4	№ 1	20	6
Антенна волновой канал из четырех вибраторов	III-a	№ 5	№ 2	№ 6	№ 4	№ 1	8	12
	III-б	№ 5	№ 3	№ 5	№ 4	№ 1	15	11
Двухэтажная вибраторная антенна	IV	№ 5	№ 7	—	—	—	35	3
Двухэтажная антенна вибратор-рефлектор	V	№ 5	№ 3	№ 5	№ 2	—	30	5
Угловая двухэтажная антенна	VI	по номограмме № 71	№ 7	—	—	—	350	1,5
Крестообразная антенна	VII	по номограмме № 71	№ 7	—	—	—	35	1,5

В вертикальной плоскости эти антенны (а также антенны типа IV и VI) имеют диаграмму направленности в форме восьмерки, расположенной так, что излучение вверх и вниз отсутствует. Для двух антенн одного и того же типа, рассчитанных по номограмме № 72 с помощью табл. 8.1, антенна с меньшим входным сопротивлением будет обладать худшими диапазонными свойствами, т. е. меньшей полосой пропускания.

Для расчета размеров любой из антенн, изображенных на номограмме № 72, с помощью табл. 8.1 определяют, какой кривой на графике нужно пользоваться. В таблице указаны №№ кривых графика. Затем по графику по заданной длине волны (или частоте) определяют данный размер антенны в мм. Если на шкалах графика нет нужных величин λ или f , можно пользоваться обычным линейным принципом подобия.

Пример 3.

Найти размеры элементов антенны *волновой канал* типа III-в для волны 6 м. Входное сопротивление антенны должно составлять 75 ом. Из табл. 8.1 находим номера кривых, по которым следует определять размеры. В графе III-б таблицы читаем, что размеры A и B определяются по кривой № 5, размер B — по кривой № 3, размер Γ — № 4, D — № 1. Из графика номограммы по этим кривым определяем $A = B = 288$ см, $B = 150$ см, $\Gamma = 282$ см, $D = 60$ см. Входное сопротивление такой антенны будет составлять 15 ом. Чтобы получить сопротивление, равное 75 ом, необходимо использовать в качестве активного элемента шлейф-вибратор. Поправочный коэффициент K в нашем случае равен $K = \frac{75}{15} = 5$. По номограмме № 71, задавшись отношением диаметров стержней $\frac{d_2}{d_1} = 2$, находим $\frac{D}{d_1} = 11,5$. Принимая размеры стержней равными $d_2 = 20$ и $d_1 = 10$ мм, вычисляем $D = 115$ мм.

НОМОГРАММА № 73

8.8. РАСЧЕТ СПИРАЛЬНЫХ АНТЕНН

В последнее время в радиотехнике все чаще стали применяться спиральные антенны для передачи и приема волн с круговой поляризацией. Спиральная антенна представляет собой проволочную спираль, имеющую определенные геометрические размеры, возбуждаемую на одном из ее концов. Передающая линия, по которой в антенну поступает высокочастотная энергия, должна быть согласована с входным сопротивлением антенны. Один из ее проводников присоединяется непосредственно к концу спирали, другой же про-

водник передающей линии может быть подключен, например, к небольшому экрану, помещенному в конце спирали.

Наиболее важен так называемый *режим осевого излучения* спиральных антенн, при котором излучение происходит в некотором угле в направлении продольной оси спирали. Величина этого угла, коэффициент усиления и входное сопротивление антенны зависят, главным образом, от геометрических размеров спирали в сравнении с длиной волны. Номограмма № 73, построенная по эмпирическим формулам для *режима осевого излучения*, позволяет определять коэффициент направленного действия G , ширину диаграммы направленности θ в плоскости, наклоненной под углом 45° к горизонту, и входное сопротивление $R_{\text{вх}}$ антенны в зависимости от обобщенных параметров антенны $\frac{S}{\lambda}$, $\frac{L}{\lambda}$ и n . Здесь S — шаг спирали, L — длина витка спирали, λ — длина волны (все эти величины должны быть взяты в одинаковых единицах), n — количество витков спирали. *Режим осевого излучения* имеет место, если эти обобщенные параметры находятся в пределах, указанных на соответствующих шкалах номограммы

$$\theta = \frac{52}{\frac{L}{\lambda} \sqrt{n \frac{S}{\lambda}}}, \quad (8.17)$$

$$G = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 n \frac{S}{\lambda}, \quad (8.18)$$

$$R_{\text{вх}} = 140 \frac{L}{\lambda}. \quad (8.19)$$

Пример.

Спиральная антенна имеет шаг $S = 0,2$. Количество витков $n = 6$. Каким коэффициентом направленного действия G и шириной диаграммы направленности θ будет обладать такая антенна в *режиме осевого излучения*, если ее входное сопротивление равно $R_{\text{вх}} = 140$ ом? Откладываем на соответствующих шкалах заданные значения параметров. (При этом на шкале $\frac{L}{\lambda}$ значение будет равно 1). Соединяем между собой точки на шкалах $\frac{S}{\lambda}$ и n прямой линией. Через точку пересечения этой прямой со вспомогательной осью и отметку на шкале $R_{\text{вх}}$ проводим вторую прямую, которая пересечет шкалу θ , G в точке с отметками $\theta = 47,5^\circ$ и $G = 18$ ($G = 12,5$ дб).

ПЕРЕЧЕНЬ НОМОГРАММ И ФОРМУЛ

№ номограммы	Наименование	Формулы
1	Степени и корни из действительных чисел	$m = \sqrt[n]{N}$
2	Квадратные корни из комплексных чисел	$\sqrt{z} = \sqrt{a + jb} = x + jy$
3	Пересчет комплексных чисел из декартовых координат в полярные	$x + jy = z e^{j\varphi}$
4	Обратные комплексные величины	$a + jb = \frac{1}{x + jy}$
5	Перевод отношений чисел в децибелы	$N \text{ дБ} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}$ $N \text{ дБ} = 20 \lg K = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$
6	Закон Ома и мощность	$I = \frac{U}{R}; P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
7	Индуктивность однослойной катушки	$L = \frac{0,01DN^2}{\frac{l}{D} + 0,44}$
8	Собственная емкость однослойной катушки	$C_0 = \frac{\pi D}{3,6} \operatorname{ch} \frac{t}{d}$
9	Расчет многослойных катушек	$L = \frac{0,08D^2N^2}{3D + 9b + 10c}$
10	Расчет катушек плотной намотки	$N_S = f(\varepsilon, d); N = N_S S_M; V = l_{\text{ср}} S_M$ $l = \frac{V}{100} N_S; R_V = \varphi(\varepsilon, d); R = R_V \cdot V$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
11	Индуктивность катушки со стальным сердечником	$L = \frac{0,4\pi N^2 \cdot 10^{-8}}{\frac{l_{жк}}{\mu S_{жк}}}; \frac{l_{жк}}{\mu S_{жк}} = R_m$
12	Индуктивность экранированной катушки	$L_9 = L_0 \beta$ $\beta = \left[1 - \left(\frac{D_k}{D_9} \right)^3 \right] \cdot \left[1 - \left(\frac{l_k}{2l_9} \right)^2 \right]$
13	Расчет силового маломощного трансформатора	$S_{жк} = 1,25 \sqrt{P_0}; N_0 = \frac{3,6 \cdot 10^5}{B \sqrt{P}};$ $N = N_0 U; P = IU; d = 1,13 \sqrt{I/f}$
14	Параллельное соединение сопротивлений	$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$
15	Усилитель низкой частоты с емкостной связью между каскадами	$\frac{K_0}{\mu} = \frac{1}{1 + R_l \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_c} \right)};$ $\frac{K_H}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi 50 R_H C_0} \right)^2}}$ $\frac{K_B}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi 10^4 C_{ш} R_B)^2}}$
16	Коэффициент усиления усилителя с обратной связью	$A = 1 + \frac{R_H}{R_l}; K = \frac{SR_H}{A}$
17	Амплитуда сигналов в усилителе с обратной связью	$U_m = \frac{E_{ск}}{1-K}; B = gR$
18	Расчет катодного повторителя	$Z_{вых} = \frac{R_k}{1 + SR_k};$ $\Delta f = \frac{1}{2\pi C_k Z_{вых}}$
19	Расчет корректирующего дросселя	$R_a = 0,85 \frac{1}{2\pi f_a C_{ш}};$ $L_a = 0,415 C_{ш} R_a^2$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
20	Расчет цепи связи в видеоусилителе	$RC = \frac{\tau}{\ln \frac{1}{1-k}}; f_H = \frac{1}{2\pi RC}$
21	Усилитель с одноконтурными каскадами	$K = n 20 \lg \left[\frac{\delta}{2\pi} \sqrt{2^{1/n} - 1} \right]$
22	Усилитель с расстроенными парами контуров	$K = 2n 20 \lg \left[\frac{\delta}{2\pi} \sqrt{2^{1/n} - 1} \right]$
23	Усилитель с расстроенными тройками контуров	$K = 3n 20 \lg \left[\frac{\delta}{2\pi} \sqrt{2^{1/n} - 1} \right]$
24	Номограмма для расчета отдельных каскадов усилителя	$\delta = \frac{1}{Q} = \frac{\Delta f}{f}; K = SR_H;$ $\Delta f = \frac{1}{2\pi R_H C_{\text{общ}}}$
25	Сопряжение контуров в супергетеродине	$\frac{C_1}{C_m} = \varphi \left(\frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}} \right);$ $\frac{C_2}{C_m} = \psi \left(\frac{f_{\text{макс}}}{f_{\text{мин}}}; \frac{f_{\text{пр}}}{f_{\text{макс}}} \right)$
26	Тепловые шумы параллельной RC-цепи	$E_{\text{ш}} = \frac{0,51 \cdot 10^{-10}}{\sqrt{C}} \sqrt{\text{arcctg} \frac{f}{f_0}};$ $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$
27	Шумфактор четырехполюсников	$F = \frac{E_{\text{вх}}^2}{kT\Delta f R_{\text{вх}}}; E_{\text{вх}} = \frac{E_{\text{вых}}}{K_i} \sqrt{\frac{R_{\text{вх}}}{R_{\text{вых}}}};$ $E = \sqrt{4kT\Delta f R_{\text{вх}}}$
28	Шумфактор последовательно соединенных четырехполюсников	$F_{\text{общ}} = F_1 + F_2' + F_3' + \dots + F_r';$ $F_r' = \frac{F_{r-1}}{K_r'}; K_r' = \sum_{i=1}^r K_i$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
29	Расчет маломощного выпрямителя	$A = \operatorname{tg} \theta - \theta = \frac{\pi r l}{2E};$ $U_{\Phi} = E \frac{1}{\sqrt{2} \cos \theta} = EA U_{\Phi};$ $J_m = \frac{I}{2} \frac{\pi (1 - \cos \theta)}{\sin \theta - \theta \cos \theta} = I A_{jm};$ $J_{\Phi} = I_{\varphi}(\theta) = I A_{j\Phi}$
30	Согласующие четырехполюсники с минимальным затуханием	$R_1 = Z_1 \sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}};$ $R_2 = \frac{Z_2}{\sqrt{1 - \frac{Z_2}{Z_1}}};$ $\beta = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} + \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2} - 1} \right)$
31	Расчет Т- и Н-образных ослабителей	$\frac{R_1}{Z} = \frac{K-1}{K+1}; \quad \frac{R_3}{Z} = \frac{2K}{K^2-1};$ $\frac{R_{12}}{Z} = \frac{K^2-1}{2K}; \quad \frac{R_{13}}{Z} = \frac{K+1}{K-1};$ $\frac{R_2}{Z} = \frac{1}{K-1}; \quad \frac{R_4}{Z} = K-1$
32	Номограмма для ориентировочных расчетов линейных схем	$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}; \quad R'' = \frac{L}{CR'};$ $\tau_L = \frac{L}{R'}; \quad \tau_C = CR'';$ $\lambda = 2\pi \sqrt{LC}; \quad R' = 2\pi f_{\omega} L$
33	Номограмма для точных расчетов линейных схем	$X_C = \frac{1}{2\pi f C}; \quad X_L = 2\pi f L;$ $R'' = \frac{1}{2\pi f_{\omega} C}$
34	Фазосдвигающая цепь	$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}; \quad Z = \frac{R}{\cos \varphi}$
35	Простейший фазовращатель	$X_C = \frac{1}{2\pi f C}; \quad R_3 = X_C \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
36	Генераторы с фазовым сдвигом	$f_I = \frac{1}{2\pi\sqrt{6RC}}; \quad f_{II} = \frac{\sqrt{6}}{2\pi RC}$
37	Расчет искусственных длинных линий	$L = \frac{R_H \tau}{2n}; \quad C = \frac{\tau}{2R_H n};$ $\tau_{\phi A} = 0,4 \frac{\tau}{n}; \quad \tau_{\phi B} = 2,2 \frac{\tau}{n}$
38	Расчет формирующей цепи, составленной из параллельно соединенных резонансных контуров	$C_n = \frac{4\tau}{\pi^2(2n+1)^2 R_H};$ $L = \frac{R_H \tau}{4}$
39	Формирующая цепь, состоящая из последовательно соединенных противорезонансных контуров	$C = \frac{C_0}{2} = \frac{\tau}{4R_H};$ $L_n = \frac{4R_H \tau}{\pi^2(2n)^2}$
40	Амплитуда дифференцированного импульса	$\beta = \frac{\tau_{\phi p}}{R(C_1 + C_2)}; \quad \gamma = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$ $U_{2m} = E\gamma(\beta);$ $(\beta)' = \left(\frac{1}{\beta}\right)^{\beta-1}$
41	Длительность дифференцированного импульса	$T_{\max} = \frac{\ln \beta}{\beta - 1}; \quad t = \tau_{\phi p} T_{\max}$
42	Мульти vibrator с самовозбуждением	$\tau = (\ln \alpha) R_g C;$ $\tau_{\phi p} = 4(R_H + R_I) C$
43	Расчет пик-трансформатора	$\tau = \sqrt{\frac{B_S H_S V_{ж} 10^{-7}}{2\pi^2 F P}}$
44	Вихревая постоянная времени сердечника импульсного трансформатора	$\tau_B = \frac{\mu_{\Delta} d^2}{10P};$ $\frac{\Delta B_{\max}}{\Delta B_{\phi}} = 1 + \frac{\tau_B}{\tau}$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
45	Расчет импульсного трансформатора	$V = \frac{P\tau m\mu_{\Delta}}{10\Delta B_{cp}^2}; \quad \tau_{\Phi} = \frac{m\mu_{\Delta}}{3};$ $W_1 = \frac{100U_1\tau}{S\Delta B_{cp}};$ $m \leq \frac{\Delta U}{U} \left(1 + \frac{R_H}{R_i}\right)$
46	Волновое сопротивление длинной линии	$Z_d = 276 \lg\left(\frac{2D_A}{d}\right);$ $Z_k = \frac{138}{\sqrt{\epsilon}} \lg\left(\frac{D_k}{d}\right)$
47	Активное сопротивление коаксиальной линии	$R_{ш} = 83,2 \sqrt{f} \frac{1}{D} \left(\frac{D}{d} + 1\right);$ $R = 7,65 R_M \sqrt{\rho}$
48	Электрическая длина передающей линии	$\varphi = \frac{360l}{\lambda}$
49	Пересчет сопротивления потерь в линии в затухание	$\beta = \frac{R}{0,23Z_0}$
50	Изменение фазы тока вдоль линии	$\varphi = \arctg \left[\frac{R_H}{Z_0} \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right) \right]$
51	Сопротивление отрезка линии	$X_{вх} = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right);$ $X_{вх} = Z_0 \operatorname{ctg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right);$ $Z_{вх} = \frac{2Z_0^2}{R}$
52	Четвертьволновый трансформатор	$Z = \sqrt{Z_1 Z_2}$
53	Добротность коаксиальной линии как контура	$Q = 0,0839 \frac{D}{2} \sqrt{f} \frac{\ln \frac{D}{d}}{\left(\frac{2}{D} + \frac{2}{d}\right)}$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
54	Линия, нагруженная на емкость	$\frac{1}{2\pi f C} = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right)$
55	Максимальный градиент потенциала в коаксиальной линии	$U_{\max} = \frac{1198E}{Z_0 d}$
56	Уменьшение К. с. в. вследствие потерь в линии	$\beta = 10 \operatorname{lg} \left[\frac{(r_2 + 1)(r_1 - 1)}{(r_2 - 1)(r_1 + 1)} \right]$
57	К. п. д. при рассогласовании в линиях	$\eta_0 = \frac{2 \operatorname{sh} 2\beta_n}{e^{(2\beta_l + 2\beta_n)}};$ $\eta = \frac{\operatorname{sh} 2\beta_n}{\operatorname{sh}(2\beta_l + 2\beta_n)};$ $\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 - e^{-(4\beta_l + 4\beta_n)}};$ <p>где $\beta_n = \operatorname{arc} \operatorname{cth} r$</p>
58	Расчет шлейфов нагруженной линии	$l_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R}{Z_0}};$ $l_2 = \frac{\lambda}{2\pi} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{Z_0 R}{R - Z_0}}$
59	Затухание последовательно соединенных ослабителей	$20 \operatorname{lg} \left[1 + \frac{(r'_2 - 1)(r'_1 - 1)}{(r'_2 + 1)(r'_1 + 1)} \right] > \epsilon_2 >$ $> 20 \operatorname{lg} \left[1 - \frac{(r'_2 - 1)(r'_1 - 1)}{(r'_2 + 1)(r'_1 + 1)} \right]$
60	Предельные частоты в прямоугольном волноводе (для волн типа $E_{m,n}$ и $H_{m,n}$)	$\lambda_{\text{пр}} = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}$
61	Предельные частоты круглого волновода	$\lambda_{\text{пр}} = \pi D / \gamma_{ni}$
62	Длина волны в круглом волноводе	$\Lambda = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda \gamma_{ni}}{\pi D}\right)^2}}$
63	Плавные волноводные переходы	$d = \frac{A}{2\pi} \sqrt{\frac{A \operatorname{tg} \theta}{2B}}; \quad D = \frac{\Lambda}{2\pi} \sqrt{\frac{\operatorname{tg} \theta}{\pi}}$

№ номо- граммы	Наименование	Формулы
64	Напряженность поля на расстоянии от передатчика для у. к. в. диапазона	$E_0 = \frac{1}{D} \sqrt{30PG}$
65	Затухание ультракоротких волн	$\beta = 20 \lg \left(\frac{41,6df}{G} \right)$
66	Величина зоны прямой видимости	$D = 4,12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$
67	Радиус первой дифракционной зоны френеля	$\rho = \sqrt{\lambda D_0}$
68	Коэффициент направленного действия сантиметровых антенн	$G = \frac{4\pi kS}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 D^2 f^2 k}{c^2}$ $\theta = \sqrt{\frac{4\pi}{G}}$
69	Диаграммы направленности синфазных антенн	$\theta = 57,3A \frac{\lambda}{a}$ $K = \varphi(\Delta); N = f(\Delta)$
70	Дальность действия радиолокатора	$D = \sqrt[4]{\frac{P_{\text{и}} \lambda^2 G^2 S_0}{(4\pi)^3 P_{\text{мин}}}}$
71	Расчет активных вибраторов	$l = k\lambda; k = \varphi \left(\frac{\lambda}{2d} \right);$ $R_1 = R_0 \left[1 + \frac{\lg \frac{2D}{d_1}}{\lg \frac{2D}{d_2}} \right]^2$
72	Расчет вибраторных антенн	$A = a(\lambda); B = b(\lambda); C = c(\lambda);$ $\Gamma = z(\lambda); D = d(\lambda),$ <p>где a, b, c, z и d зависят от типа антенны</p>
73	Расчет спиральных антенн	$\theta = \frac{52}{\lambda} \sqrt{n \frac{S}{\lambda}};$ $G = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 \cdot n \cdot \frac{S}{\lambda};$ $R_{\text{вх}} = 140 \frac{L}{\lambda}$

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинкин Г. Г., Справочник по радиотехнике, изд. 4-ое переработанное Госэнергоиздат, 1948.
2. Лифшиц Н. А., Крогиус Э. А., Семаков Н. В., Радиолокационная техника, Воениздат, 1950.
3. Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, Связьиздат, 1949.
4. Зелях Э. В., Основы общей теории линейных электрических систем, Издательство АН СССР, 1951.
5. Введенский Б. А., Аренберг А. Г., Радиоволноводы, ч. I, Гостехиздат, 1946.
6. Ицхоки Я. С., Импульсная техника, Советское Радио, 1949.
7. Слэтер Дж., Передача ультракоротких волн, Гостехиздат, 1946.
8. Рейх Дж., Теория и применения электронных приборов, Госэнергоиздат, 1948.
9. Стрэттон Дж. А., Теория электромагнетизма, Гостехиздат, 1948.
10. Справочник по радиотехнике под общей редакцией Смиренина Б. А., Госэнергоиздат, 1950.
11. Максимальная дальность действия радиолокационной станции, перевод с англ. под ред. Высоцкого Б. Ф., Советское Радио, 1947.
12. Ламповые усилители, перевод с англ. под ред. Сушкевича В. И., Советское Радио, 1950.
13. Генерирование электрических колебаний специальной формы, перевод с англ. под ред. Блюмберга Л. Ю. и Брахмана Т. Р., Советское Радио, 1951.
14. Антенны сантиметровых волн, перевод с англ. под ред. Фельда Я. Н., Советское Радио, 1950.
15. Распространение радиоволн, Дональд Е. Керр, Нью-Йорк, 1951.
16. Просидингз Институт Рэйдио Энджинирз, июль 1934, стр. 897.
17. Теле-Тек, июль 1949, август 1949, № 7, № 8.
18. Илэктроникс, январь 1940.
19. Илэктроникс, июль 1950, № 6-А.
20. Краус Дж., Спиральные антенны, „Вопросы радиолокационной техники“, сб. сокращ. переводов, вып. 2, Изд. иностр. литературы, 1951.

О Г Л А В Л Е Н И Е

<i>Предисловие</i>	3
Глава I. Вспомогательные номограммы	5
1.1. Степени и корни из действительных чисел (<i>номограмма № 1</i>) . . .	5
1.2. Квадратные корни из комплексных чисел (<i>номограмма № 2</i>) . . .	5
1.3. Пересчет комплексных чисел из декартовых координат в полярные (<i>номограмма № 3</i>)	6
1.4. Обратные комплексные величины (<i>номограмма № 4</i>)	7
1.5. Перевод отношений чисел в децибелы (<i>номограмма № 5</i>)	7
Глава 2. Элементы радиосхем	9
2.1. Закон Ома и мощность (<i>номограмма № 6</i>)	9
2.2. Индуктивность однослойной катушки (<i>номограмма № 7</i>)	9
2.3. Собственная емкость однослойной катушки (<i>номограмма № 8</i>) . . .	10
2.4. Расчет многослойных катушек (<i>номограмма № 9</i>)	11
2.5. Расчет катушек плотной намотки (<i>номограмма № 10</i>)	12
2.6. Индуктивность катушки со стальным сердечником (<i>номограмма № 11</i>)	13
2.7. Индуктивность экранированной катушки (<i>номограмма № 12</i>)	14
2.8. Расчет маломощного силового трансформатора (<i>номограмма № 13</i>)	15
2.9. Параллельное соединение сопротивлений (<i>номограмма № 14</i>)	17
Глава 3. Приемно-усилительные схемы	18
3.1. Расчет усилителя низкой частоты с емкостной связью между каскадами (<i>номограмма № 15</i>)	18
3.2. Усилители с обратной связью и катодные повторители (<i>номограммы №№ 16 и 17</i>)	21
3.3. Выходное сопротивление и полоса пропускания катодного повторителя (<i>номограмма № 18</i>)	24
3.4. Расчет корректирующего дросселя в видеоусилителе (<i>номограмма № 19</i>)	25
3.5. Расчет цепи связи в видеоусилителе (<i>номограмма № 20</i>)	25
3.6. Расчет многокаскадных усилителей промежуточной частоты (<i>номограммы №№ 21, 22, 23, 24</i>)	26
3.7. Сопряжение контуров в супергетеродине (<i>номограмма № 25</i>) . . .	31
3.8. Комбинационные частоты в смесителе	32
3.9. Тепловые шумы параллельной <i>RC</i> -цепи (<i>номограмма № 26</i>)	40
3.10. Определение шумфактора четырехполюсника (<i>номограмма № 27</i>) . . .	41
3.11. Шумфактор последовательно соединенных четырехполюсников (<i>номограмма № 28</i>)	42
3.12. Расчет маломощного выпрямителя (<i>номограмма № 29</i>)	43
Глава 4. Пассивные четырехполюсники	45
4.1. Согласующие четырехполюсники с минимальным затуханием (<i>номограмма № 30</i>)	45
4.2. Расчет Т- и Н-образных ослабителей (<i>номограмма № 31</i>)	46
4.3. Расчет линейных схем, содержащих L, C, R. (<i>номограммы №№ 32 и 33</i>)	47
4.4. Расчет электрических фильтров	51

4.5. Фазосдвигающая цепь (номограмма № 34)	56
4.6. Простейший фазовращатель (номограмма № 35)	56
4.7. Генераторы с фазовым сдвигом (номограмма № 36)	57
Глава 5. Импульсные схемы	58
5.1. Расчет искусственных длинных линий (номограмма № 37)	58
5.2. Расчет формирующей цепи, составленной из параллельно соединенных резонансных контуров (номограмма № 38)	59
5.3. Расчет формирующей цепи, составленной из последовательно соединенных противорезонансных контуров (номограмма № 39)	60
5.4. Дифференцирование импульсов (номограммы №№ 40 и 41)	61
5.5. Расчет мультивибратора с самовозбуждением (номограмма № 42)	63
5.6. Расчет пик-трансформатора (номограмма № 43)	65
5.7. Расчет импульсного трансформатора (номограммы №№ 44 и 45)	66
Глава 6. Передающие линии	71
6.1. Волновое сопротивление длинной линии (номограмма № 46)	71
6.2. Активное сопротивление коаксиальной линии (номограмма № 47)	72
6.3. Электрическая длина передающей линии (номограмма № 48)	73
6.4. Пересчет сопротивления потерь в линии в затухание (в децибелах на единицу длины) (номограмма № 49)	73
6.5. Изменение фазы тока вдоль линии (номограмма № 50)	74
6.6. Сопротивление отрезка линии (номограмма № 51)	74
6.7. Четвертьволновый трансформатор (номограмма № 52)	76
6.8. Добротность коаксиальной линии как контура (номограмма № 53)	76
6.9. Линия, нагруженная на емкость (номограмма № 54)	77
6.10. Максимальный градиент потенциала в коаксиальной линии (номограмма № 55)	79
6.11. Уменьшение к. с. в. вследствие потерь в линии (номограмма № 56)	79
6.12. К. п. д. при рассогласовании в линиях (номограмма № 57)	80
6.13. Расчет шлейфов нагруженной линии (номограмма № 58)	81
6.14. Затухание последовательно соединенных ослабителей (номограмма № 59)	82
Глава 7. Волноводы	84
7.1. Предельные частоты в прямоугольном волноводе для волн типа $E_{т,п}$ и $H_{т,п}$ (номограмма № 60)	84
7.2. Предельные частоты круглого волновода (номограмма № 61)	85
7.3. Длина волны в круглом волноводе (номограмма № 62)	85
7.4. Плавные волноводные переходы (номограмма № 63)	86
Глава 8. Распространение радиоволн и антенные системы	88
8.1. Напряженность поля на расстоянии от передатчика для у. к. в. диапазона (номограмма № 64)	88
8.2. Затухание ультракоротких волн (номограмма № 65)	89
8.3. Величина зоны прямой видимости для ультракоротких волн (номограмма № 66)	89
8.4. Радиус первой дифракционной зоны Френеля (номограмма № 67)	91
8.5. Расчет коэффициента направленного действия и ширины диаграммы направленности антенн сантиметрового диапазона (номограммы №№ 68 и 69)	92
8.6. Дальность действия радиолокационной станции (номограмма № 70)	94
8.7. Расчет вибраторных антенн (номограммы №№ 71 и 72)	96
8.8. Расчет спиральных антенн (номограмма № 73)	99
Перечень номограмм и формул	101
Литература	109

Редактор *Н. А. Шорин*
Техн. редактор *А. Н. Уразова*

Г-52962. Сдано в набор 10/VIII 1953 г. Подп. к печати 30/IX 1953 г. Формат 60x92^{1/8}. Объем 7 печ. л. + 73 номограммы = 26,5 печ. л. Бум. л. 13,25. Уч.-изд. л. 14,31. Заказ 271. Цена 12 р. 55 к.

Типография Госэнергоиздата, Москва,
Шлюзовая наб., д. 10.

О П Е Ч А Т К И

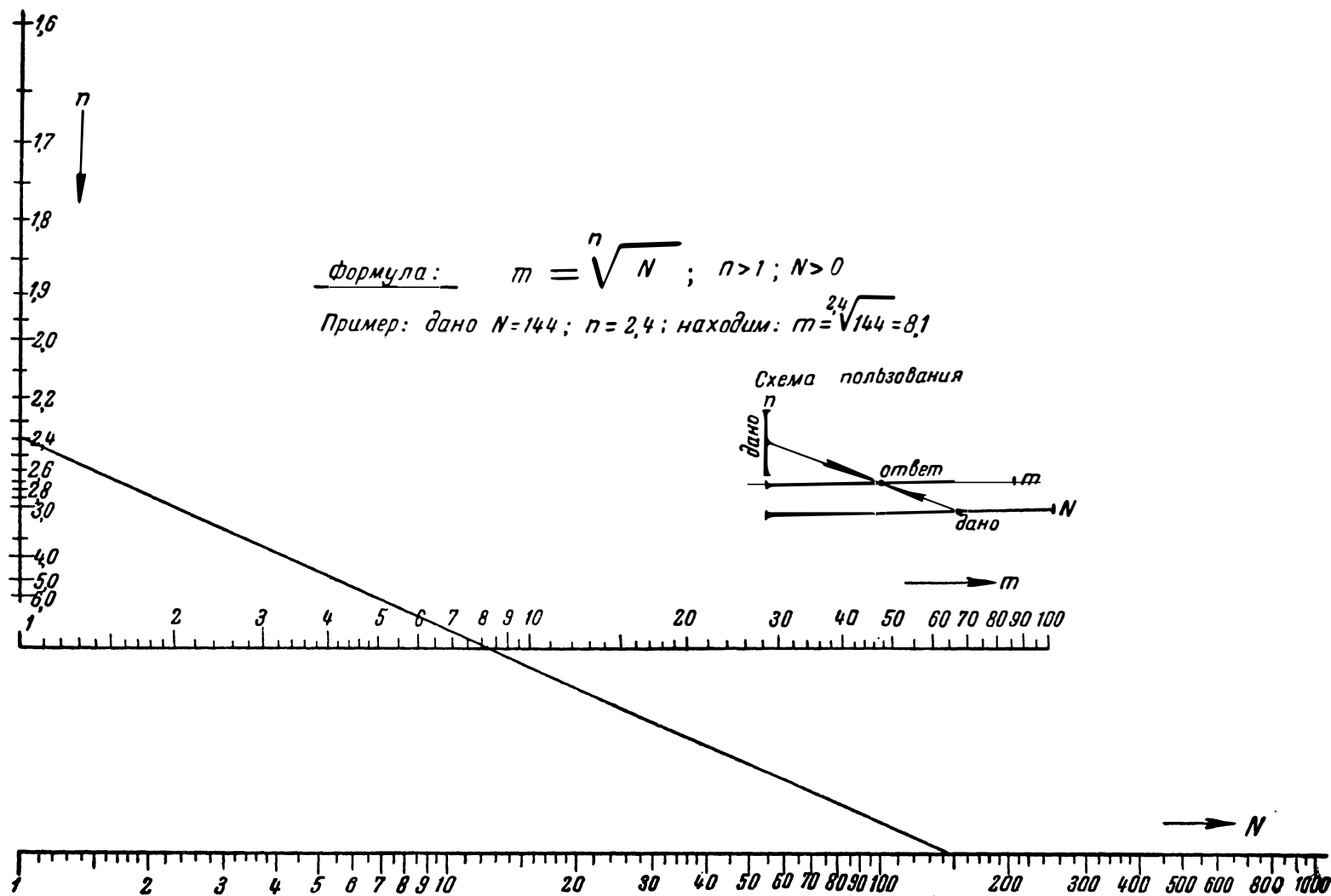
<i>Страница</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
54	Табл. 4.2	Две вертикальные линии, разделяющие рисунки, должны быть смещены на одну колонку вправо.	
54	Табл. 4.2 3-я вертикальная колонка	X_{I_2}	X_{L_2}
56	9 снизу	и R	и R_3
57	4 сверху	R	R_3
81	13 и 14 снизу	$\text{arc tg } \sqrt{\quad}$	$\text{arc tg } \sqrt{\quad}$
93	1 сверху	$\sqrt{G}^{4\pi}$	$\sqrt{\frac{4\pi}{G}}$
99	16 сверху	III-в	III-б

Сборник номограмм.

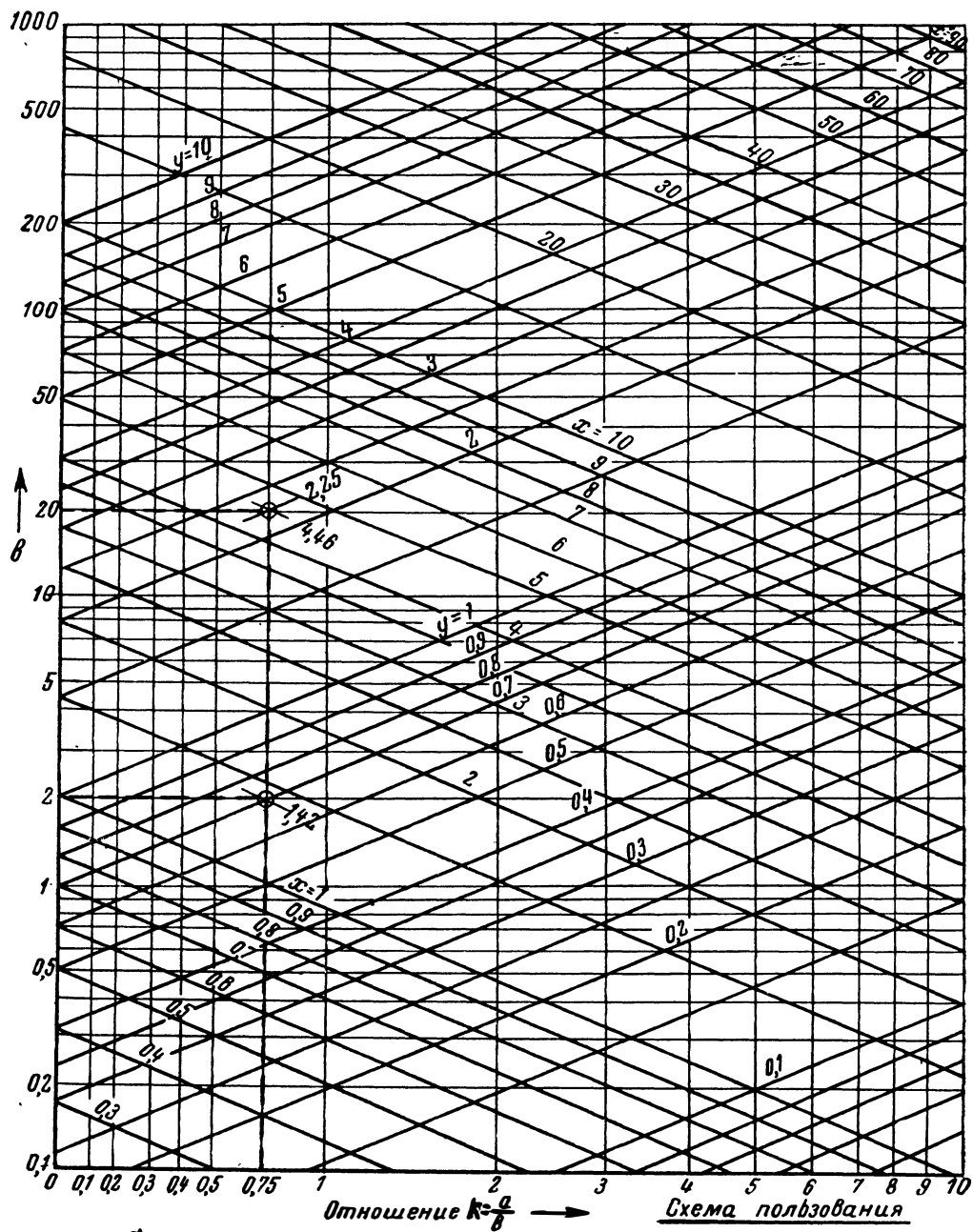
В. М. РОДИОНОВ

**СБОРНИК НОМОГРАММ
ПО РАДИОТЕХНИКЕ**

«СОВЕТСКОЕ РАДИО»

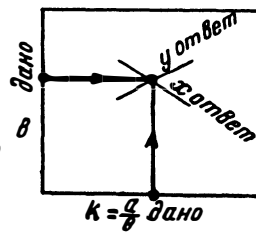


Номограмма № 1. Степени и корни из действительных чисел.

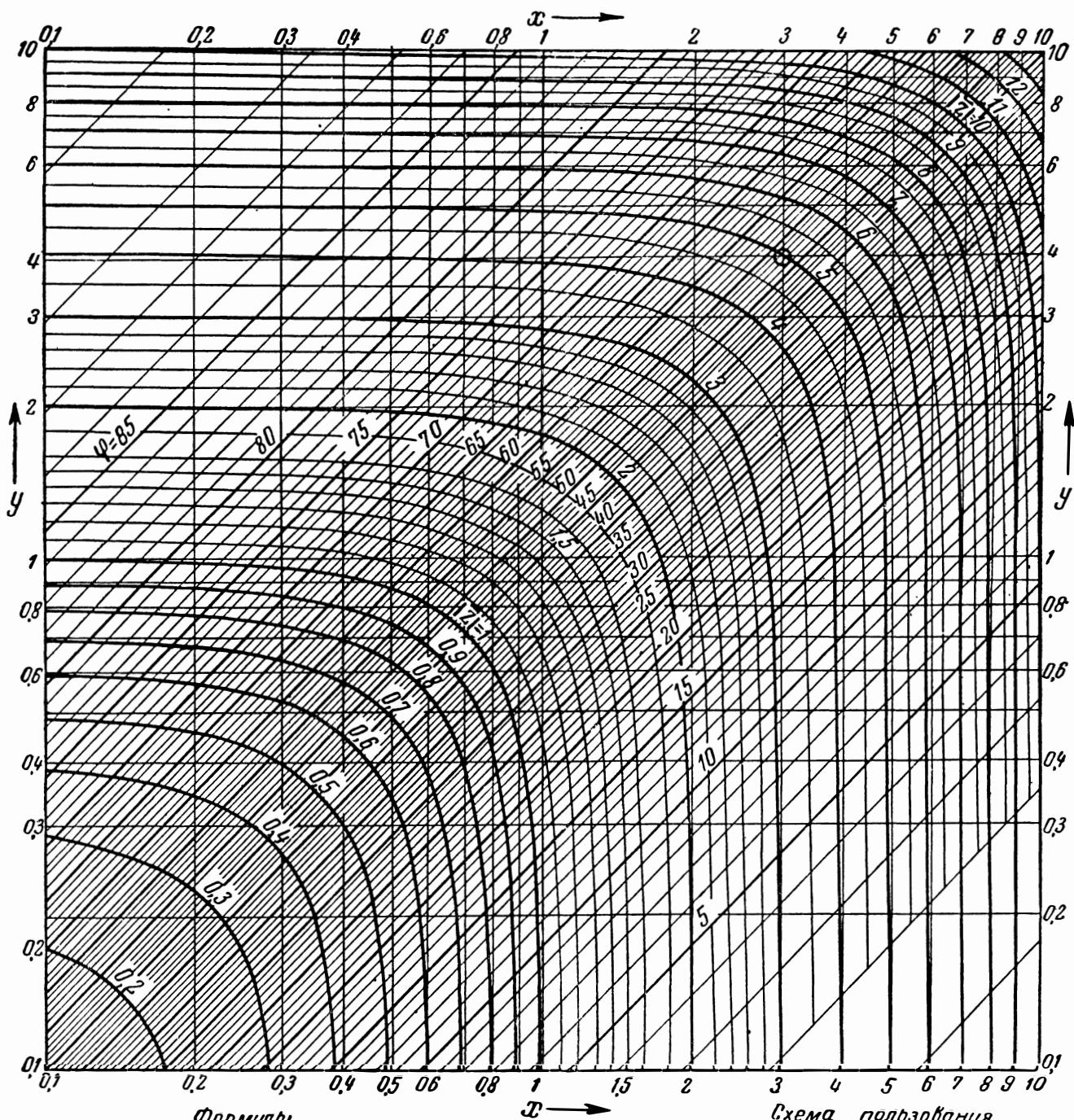


формула
 $\sqrt{Z} = \sqrt{a+jb} = x+jy$

Пример дано:
 $Z = 15 + j20$
 $a = 15; b = 20$
 $\frac{a}{b} = 0,75$
находим:
 $x = 4,46; y = 2,25$
 $\sqrt{Z} = \pm(4,46 + j2,25)$



Номограмма № 2. Квадратные корни из комплексных чисел.



Формулы

$$z = x + jy = |\bar{z}| e^{j\varphi} = |\bar{z}| (\cos \varphi + j \sin \varphi)$$

Пример

дано:

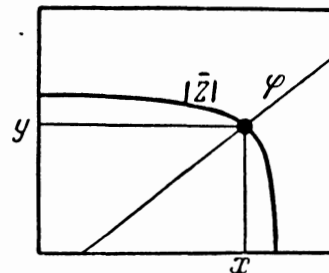
$$x = 3; y = 4; z = 3 + j4$$

находим:

$$|\bar{z}| = 5; \varphi = 53^\circ$$

$$z = 5e^{j53} = 5(\cos 53^\circ + j \sin 53^\circ)$$

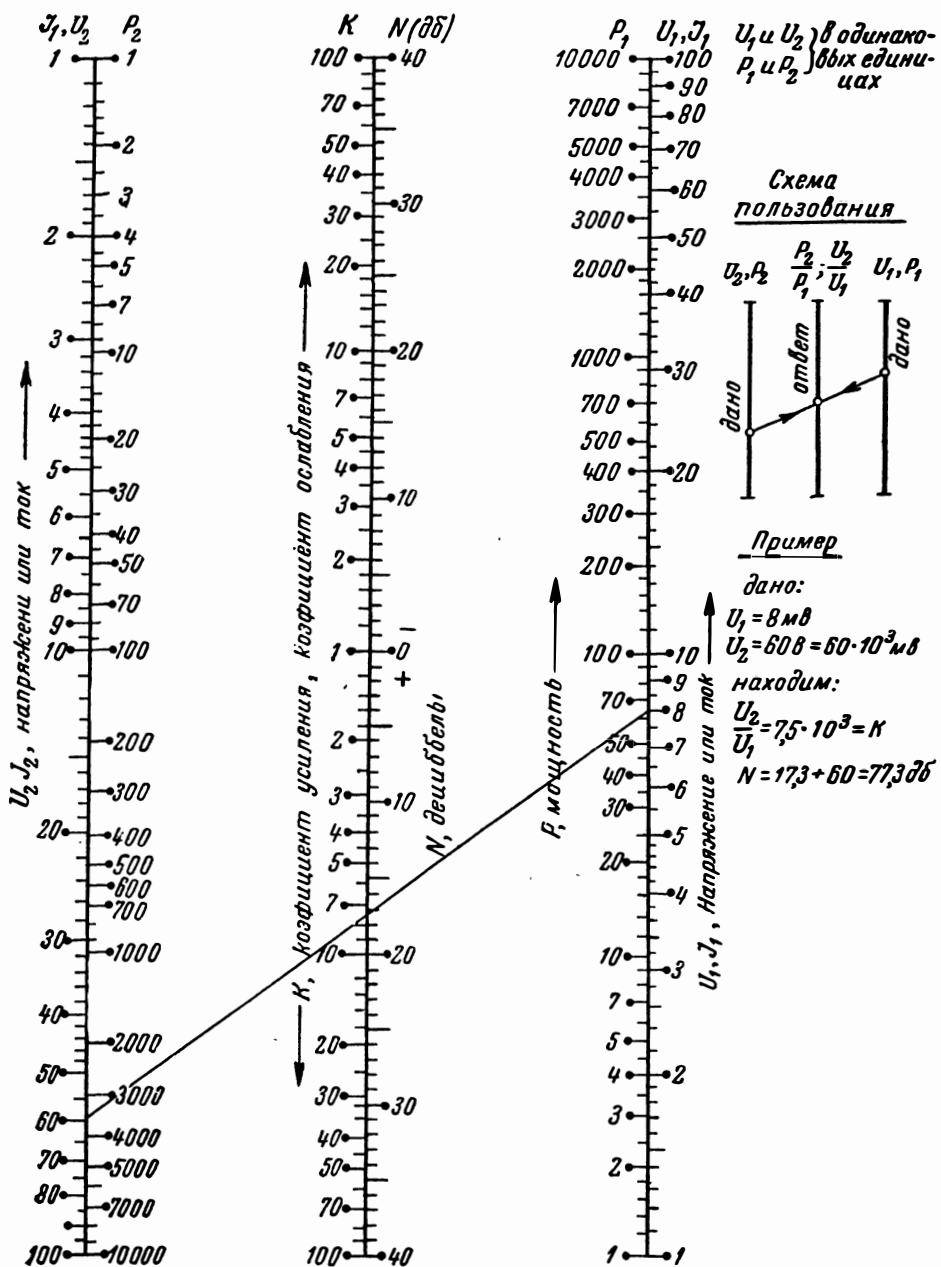
Схема пользования



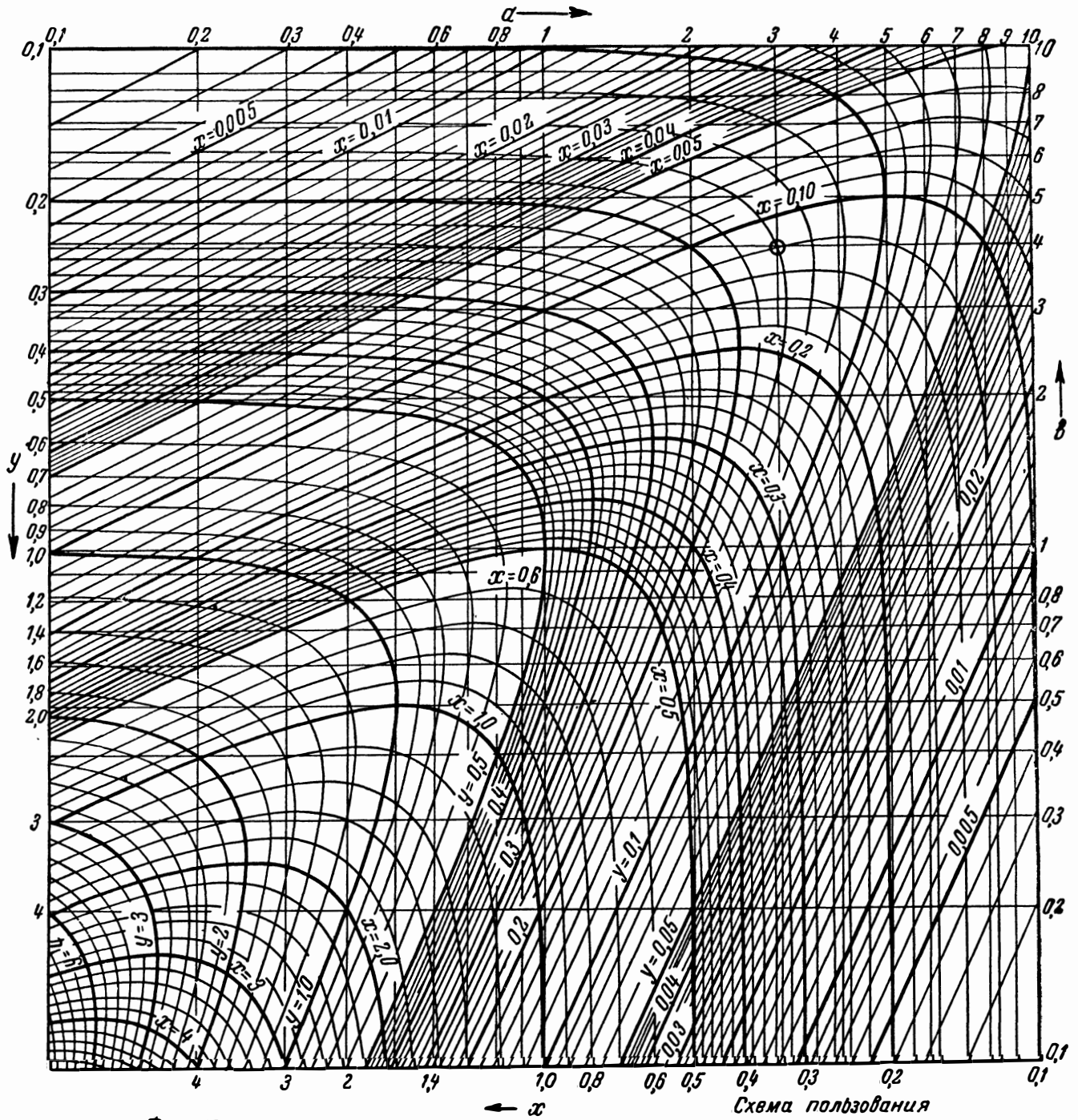
Номограмма № 3. Пересчет комплексных чисел из декартовых координат в полярные.

Формулы:

$$N_{дБ} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1} \qquad N_{дБ} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \lg K$$



Нограмма № 5. Перевод отношений чисел в децибелы.

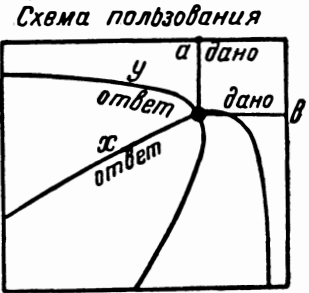


Формула

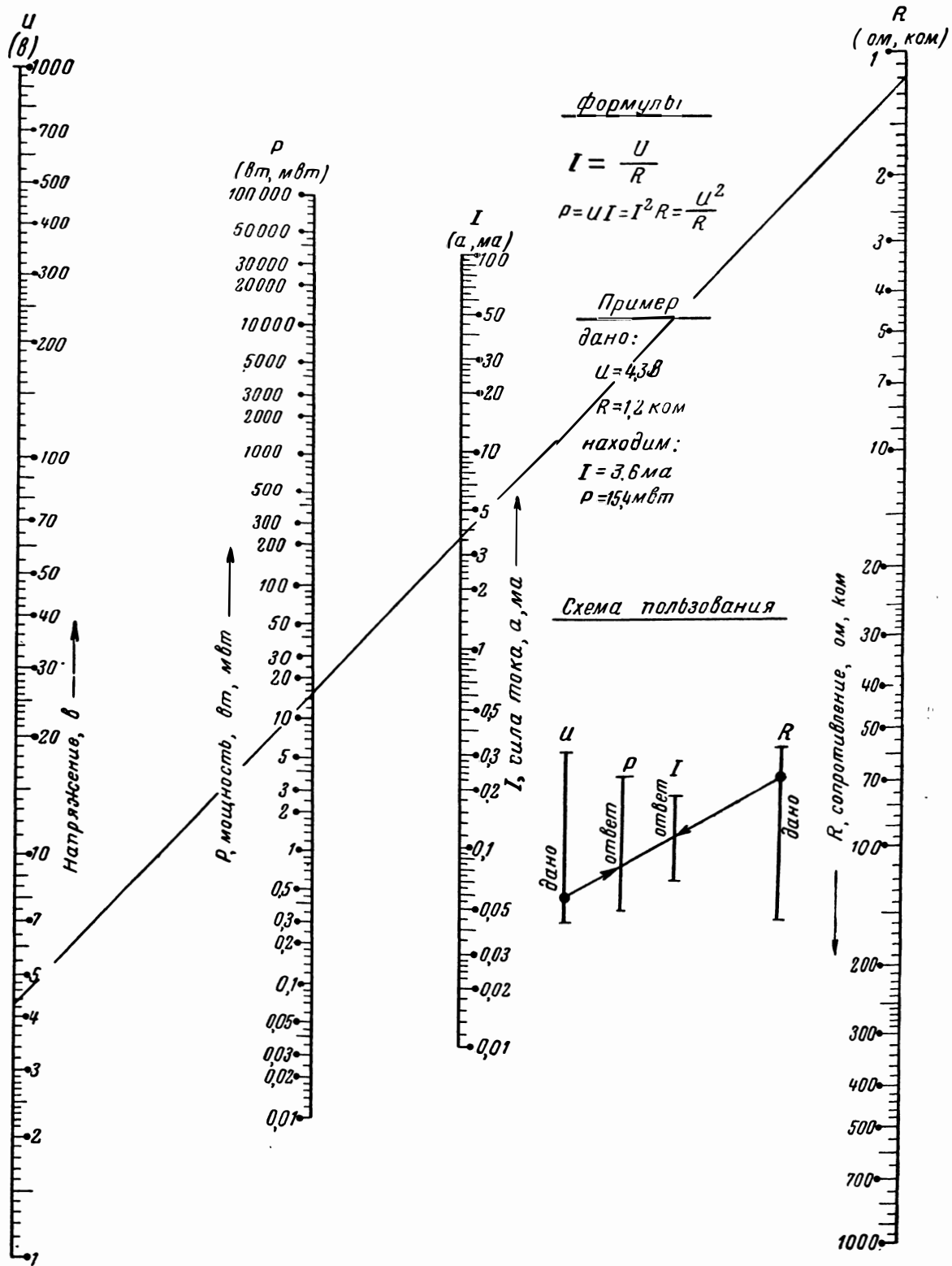
$$a + jb = \frac{1}{x + jy}$$

Пример
 дано.
 $a=3; b=4$
 $z=3 + j4$

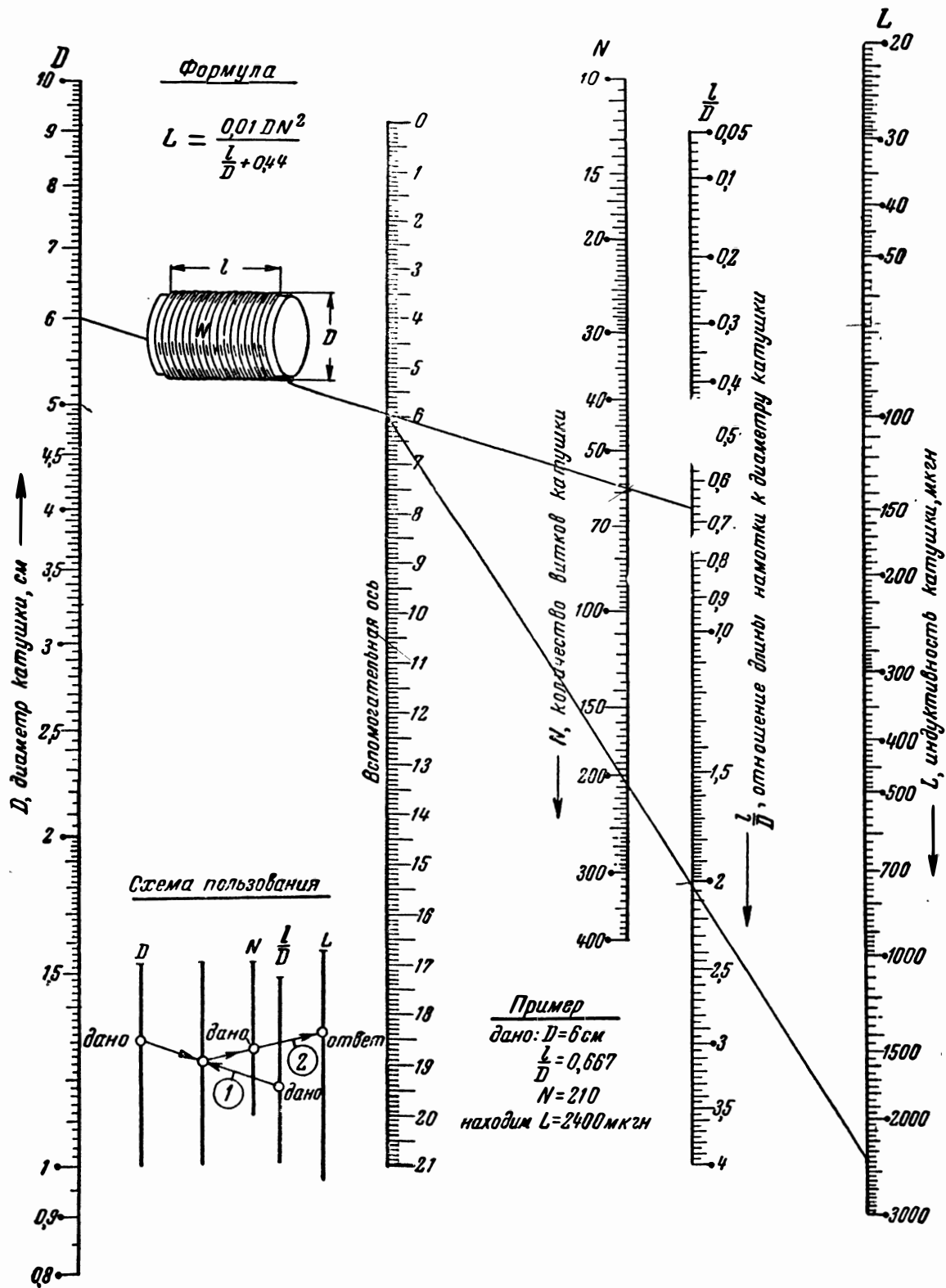
Находим.
 $x=0,12; y=-0,16$
 $z^{-1}=0,12 - j0,16$



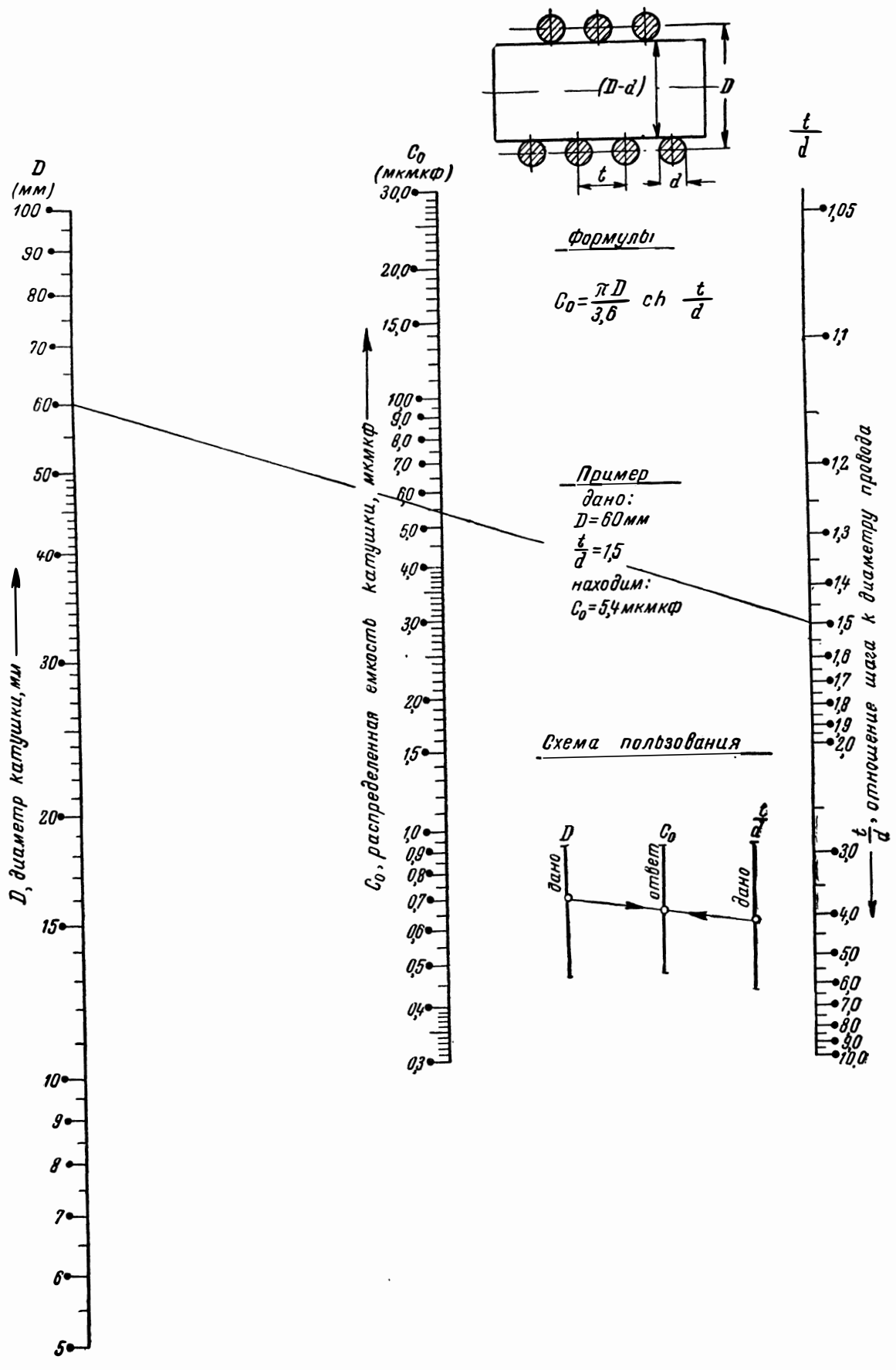
Номограмма № 4. Обратные комплексные величины.



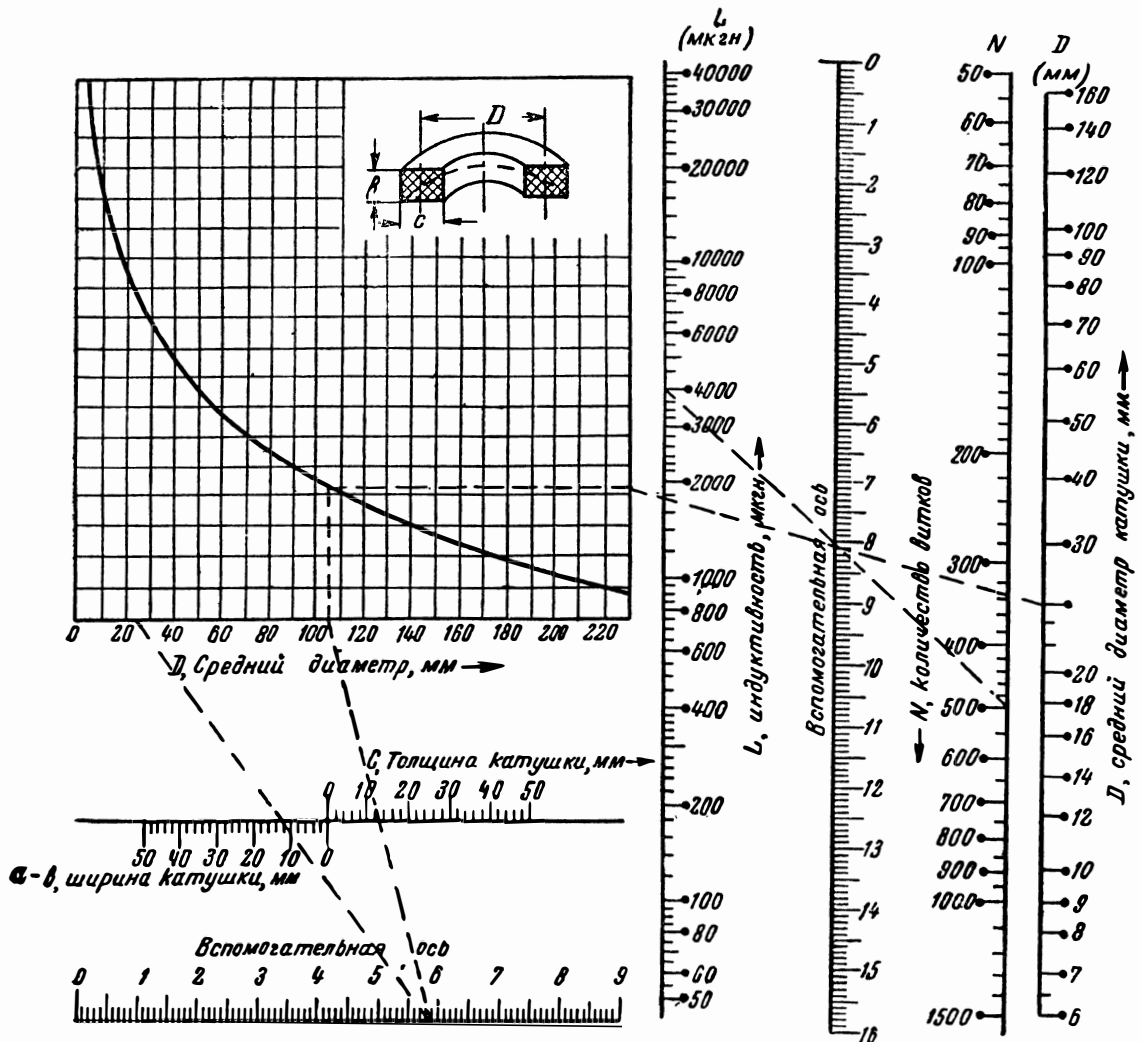
Номограмма № 6. Закон Ома, мощность.



Номограмма № 7. Индуктивность однослойной катушки.



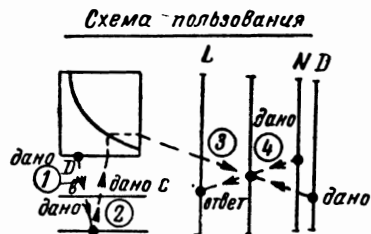
Номограмма № 8. Собственная емкость однослойной катушки.



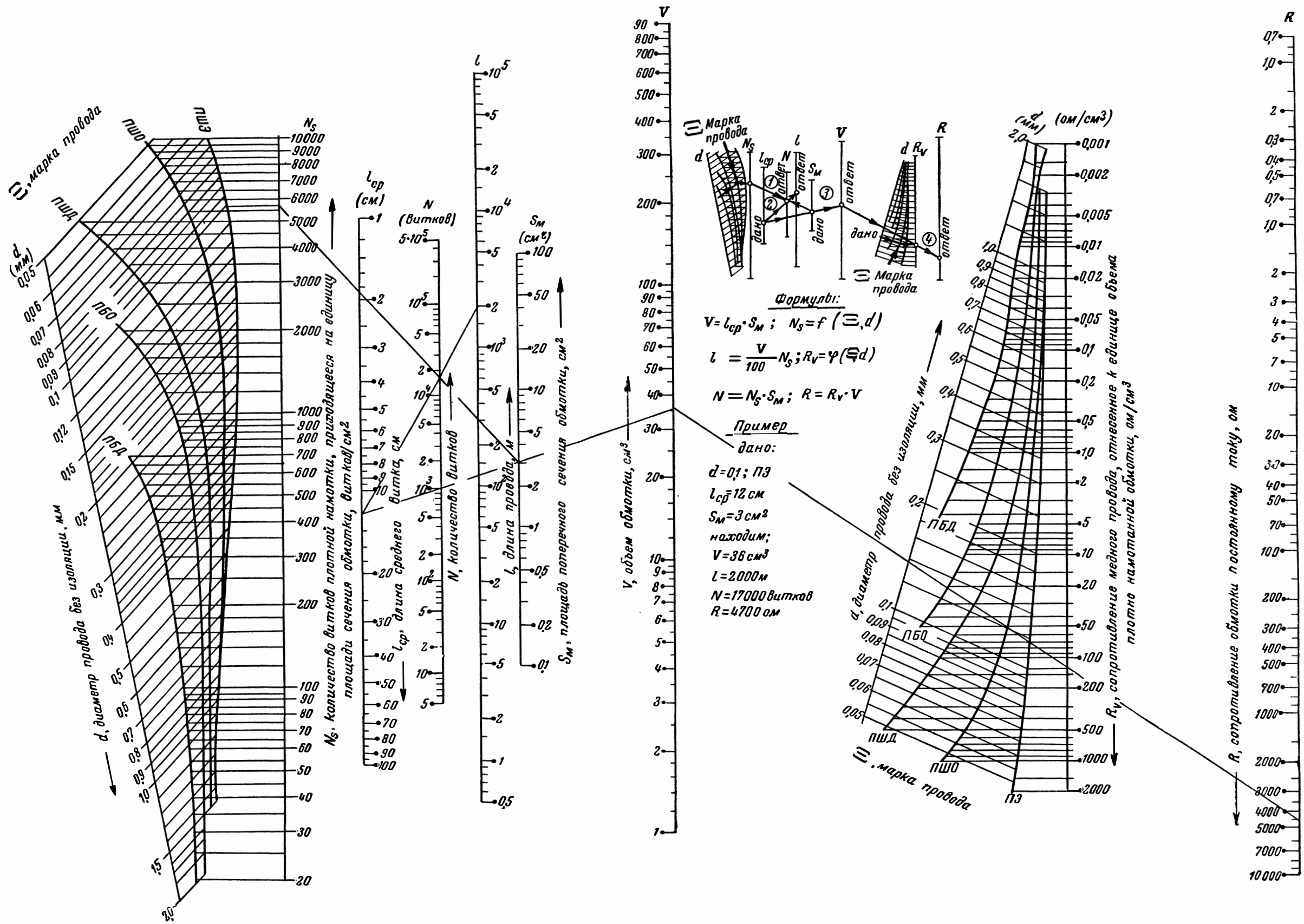
Формула

$$L = \frac{0,08 D^2 N^2}{3D + 9a + 10c} \text{ [мкГн]}$$

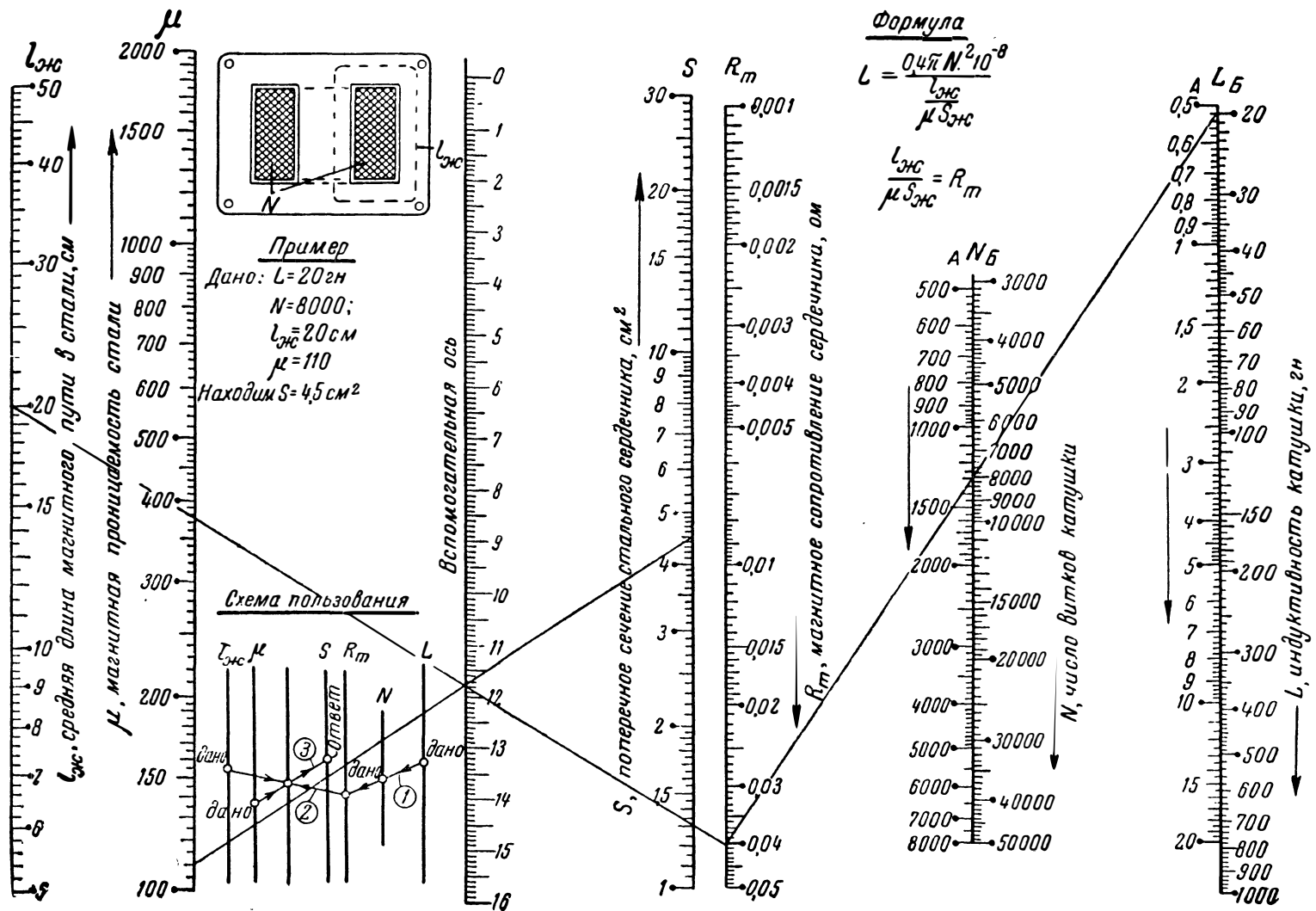
Пример
 дано:
 $D = 25 \text{ мм}; N = 500$
 $a = c = 12,5 \text{ мм}$
 находим:
 $L = 4000 \text{ мкГн}$



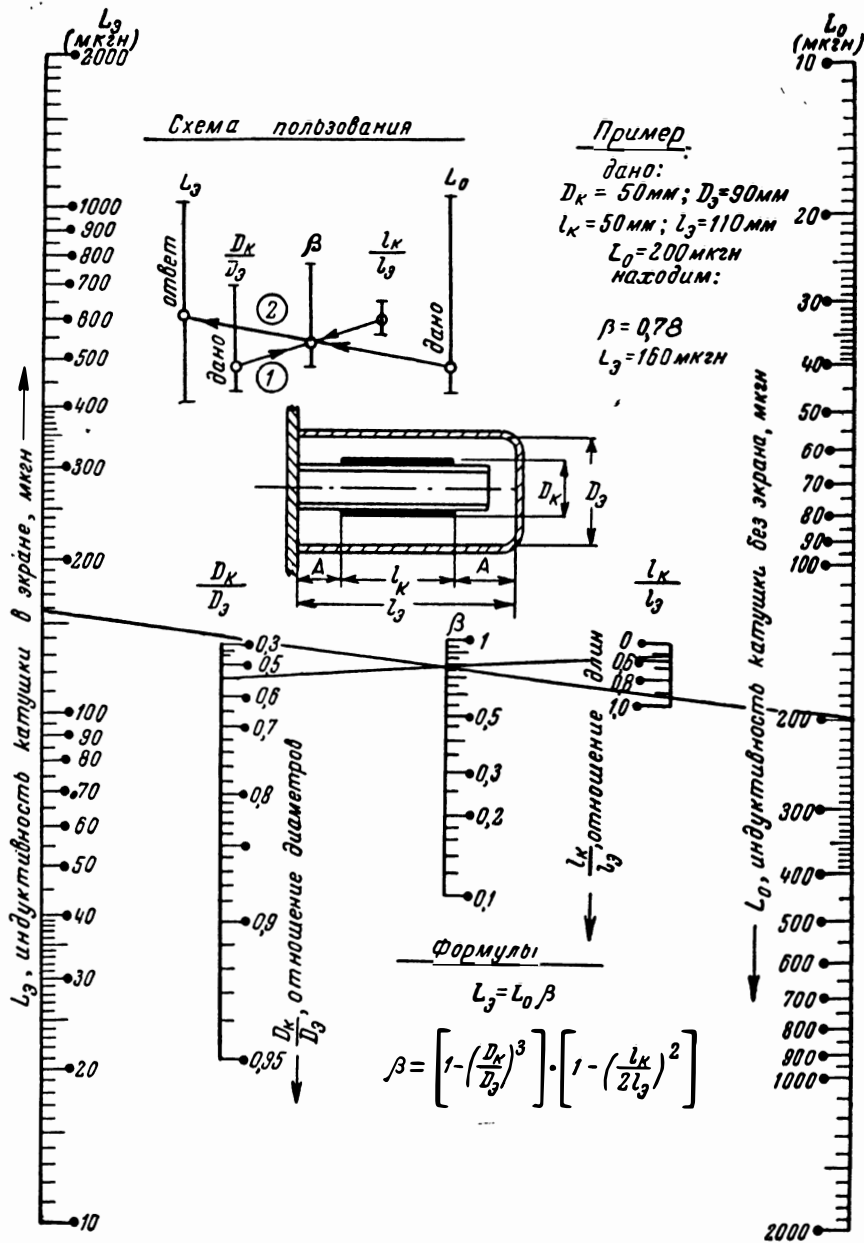
Номограмма № 9. Расчет многослойной катушки.



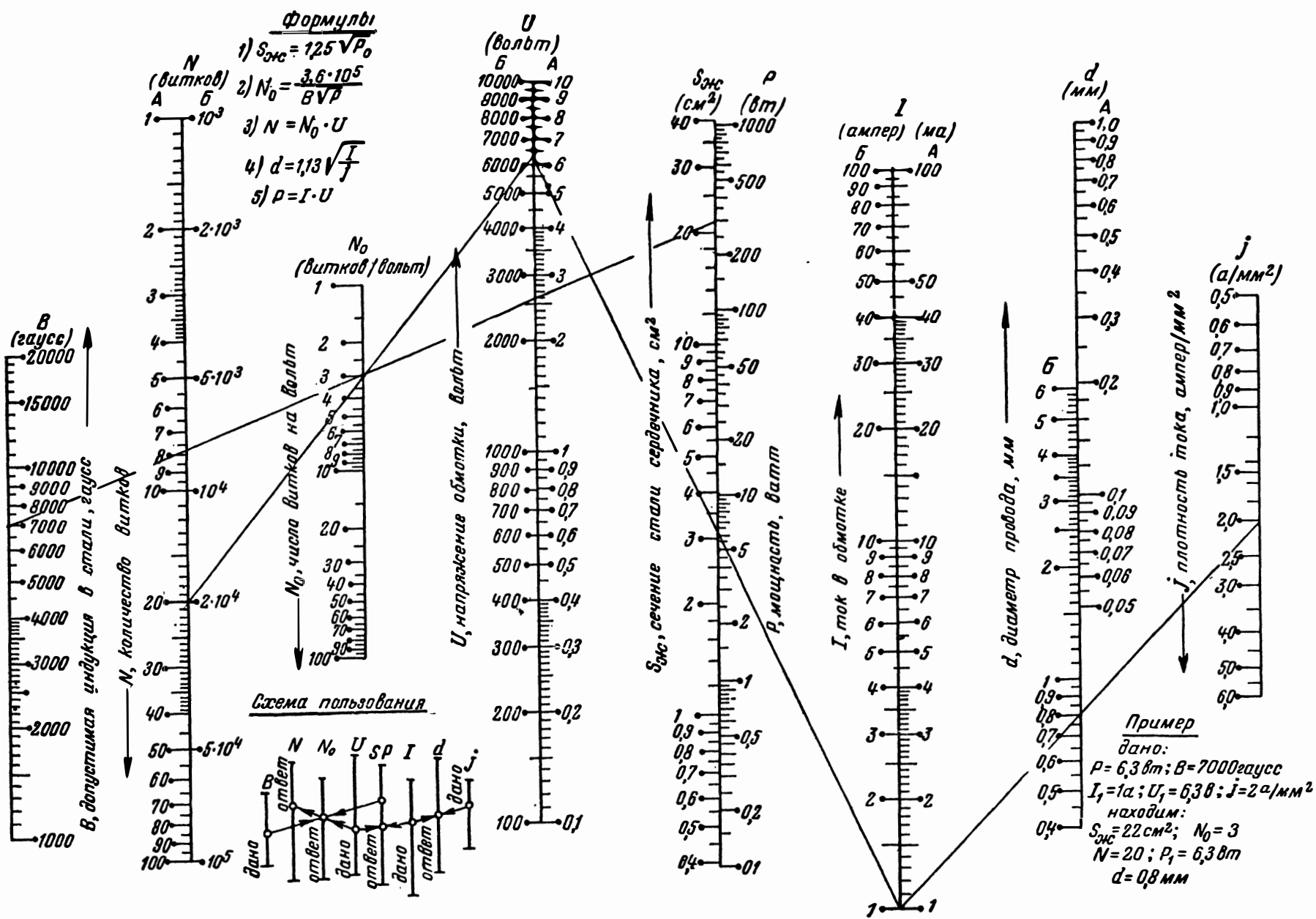
Номограмма № 10. Расчет катушек плотной намотки.



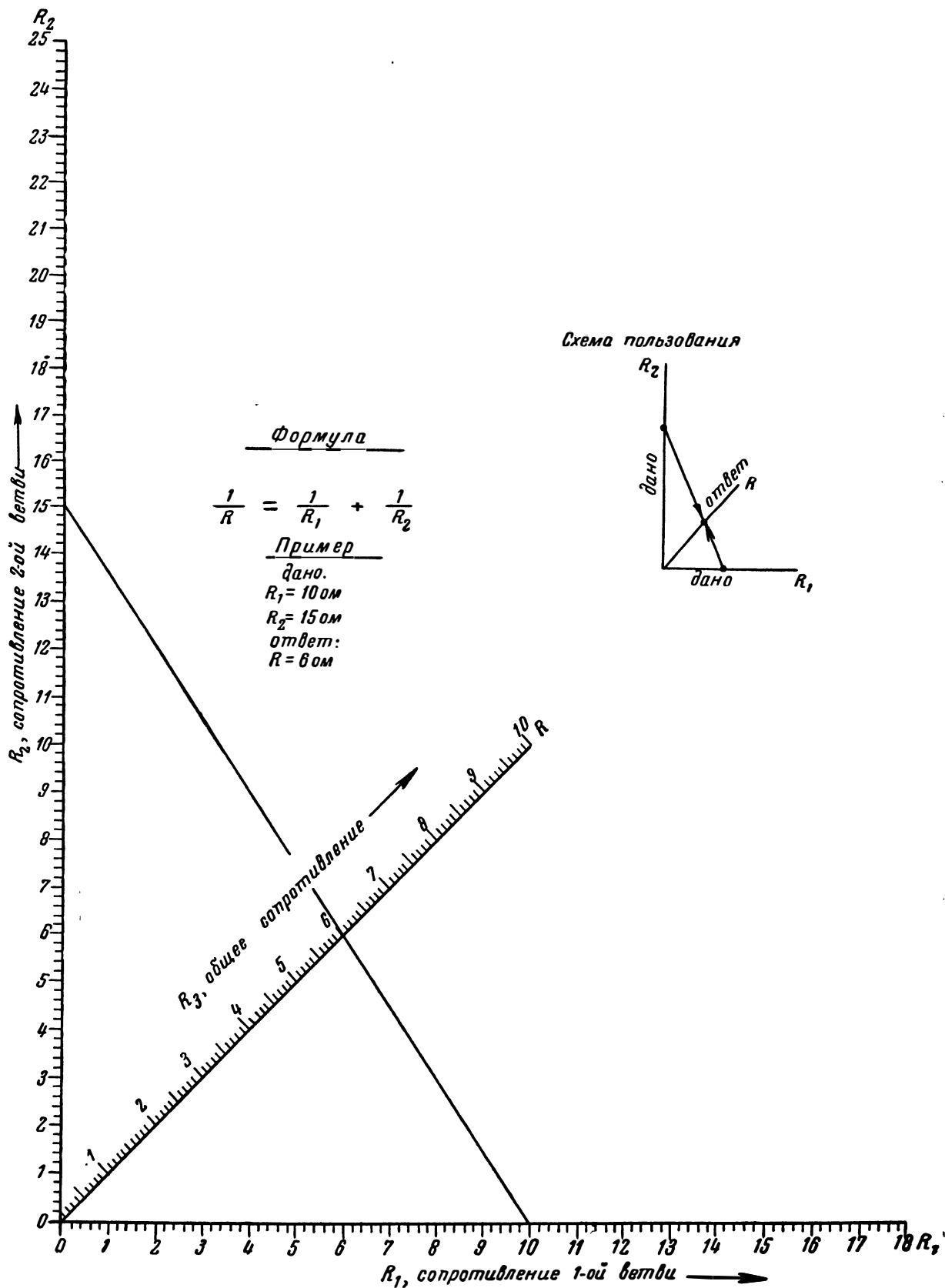
Номограмма № 11. Индуктивность катушки со стальным сердечником.



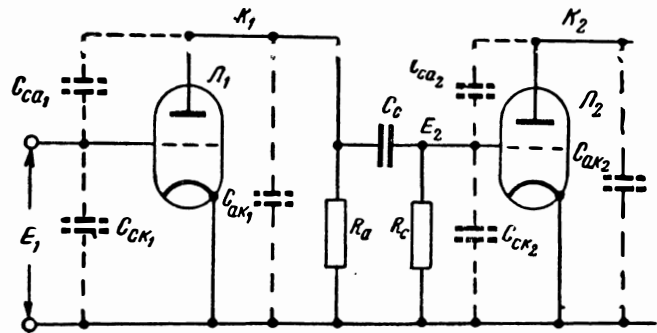
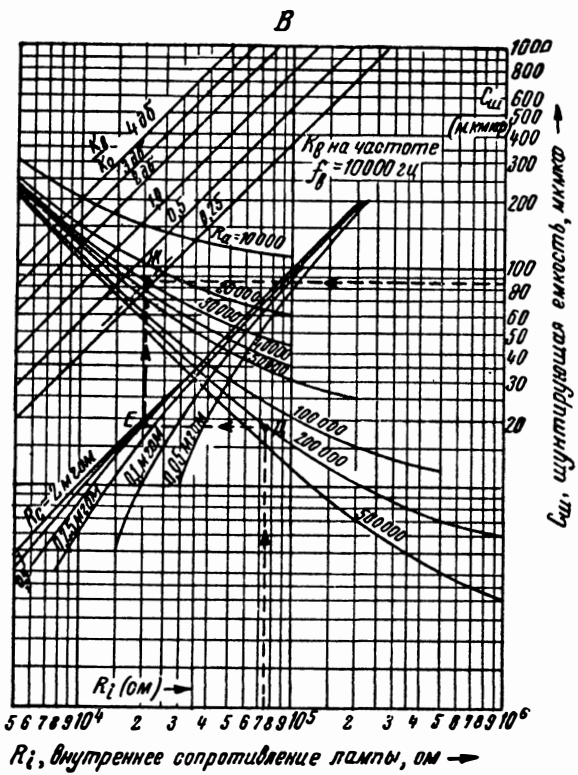
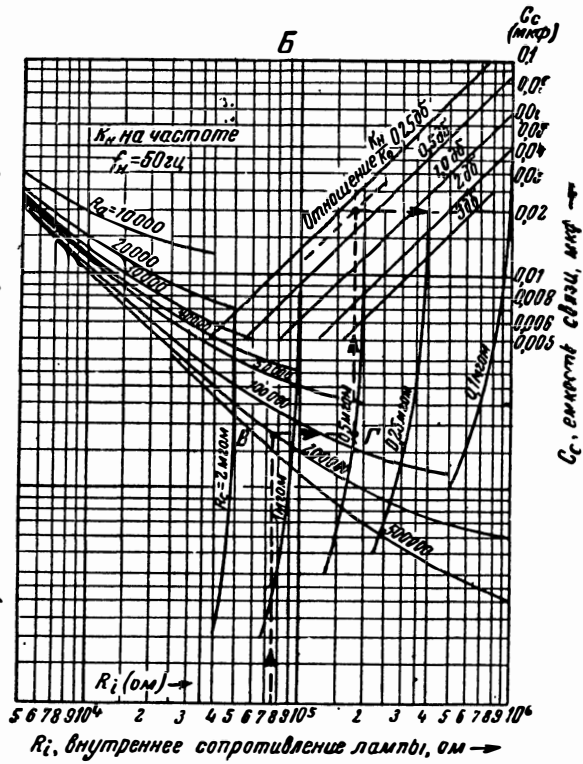
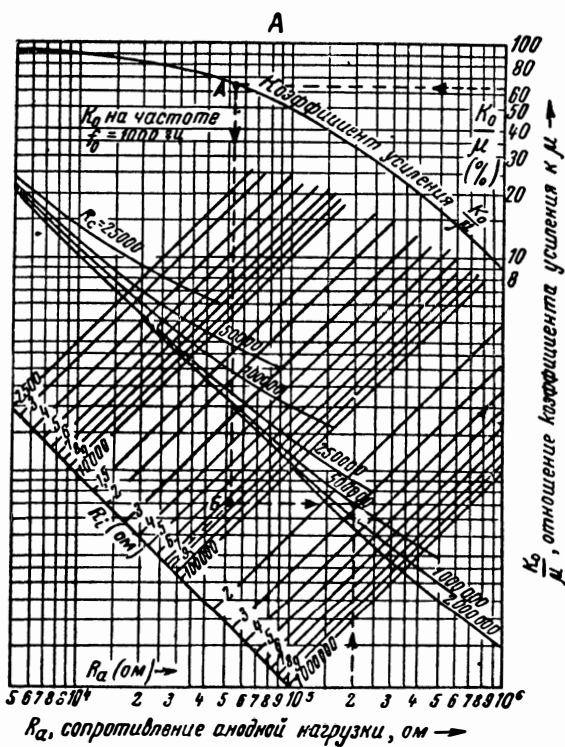
Номограмма № 12. Индуктивность экранированной катушки.



Номограмма № 13. Расчет силового трансформатора.



Номограмма № 14. Параллельное соединение сопротивлений.



Формулы:

$$\frac{K_H}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi 50 R_H C_0}\right)^2}}$$

$$\frac{K_B}{K_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi 10^4 C_{ш} R_B)^2}}$$

$$\frac{K_0}{\mu} = \frac{1}{1 + R_i \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_c}\right)}$$

$$R_H = R_c + \frac{1}{\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_i}}$$

$$R_B = \frac{R_a R_c R_i}{R_a R_c + R_a R_i + R_c R_i}$$

$$C_{ш} = C_{ca1} + C_{ck1} + C_{ck2} + C_{ca2} (1 + K_{B2})$$

Пример

дано: $K_0 \geq 60$; $\mu = 100$; $\frac{K_H}{K_0} = \frac{K_B}{K_0} \leq 0,333$

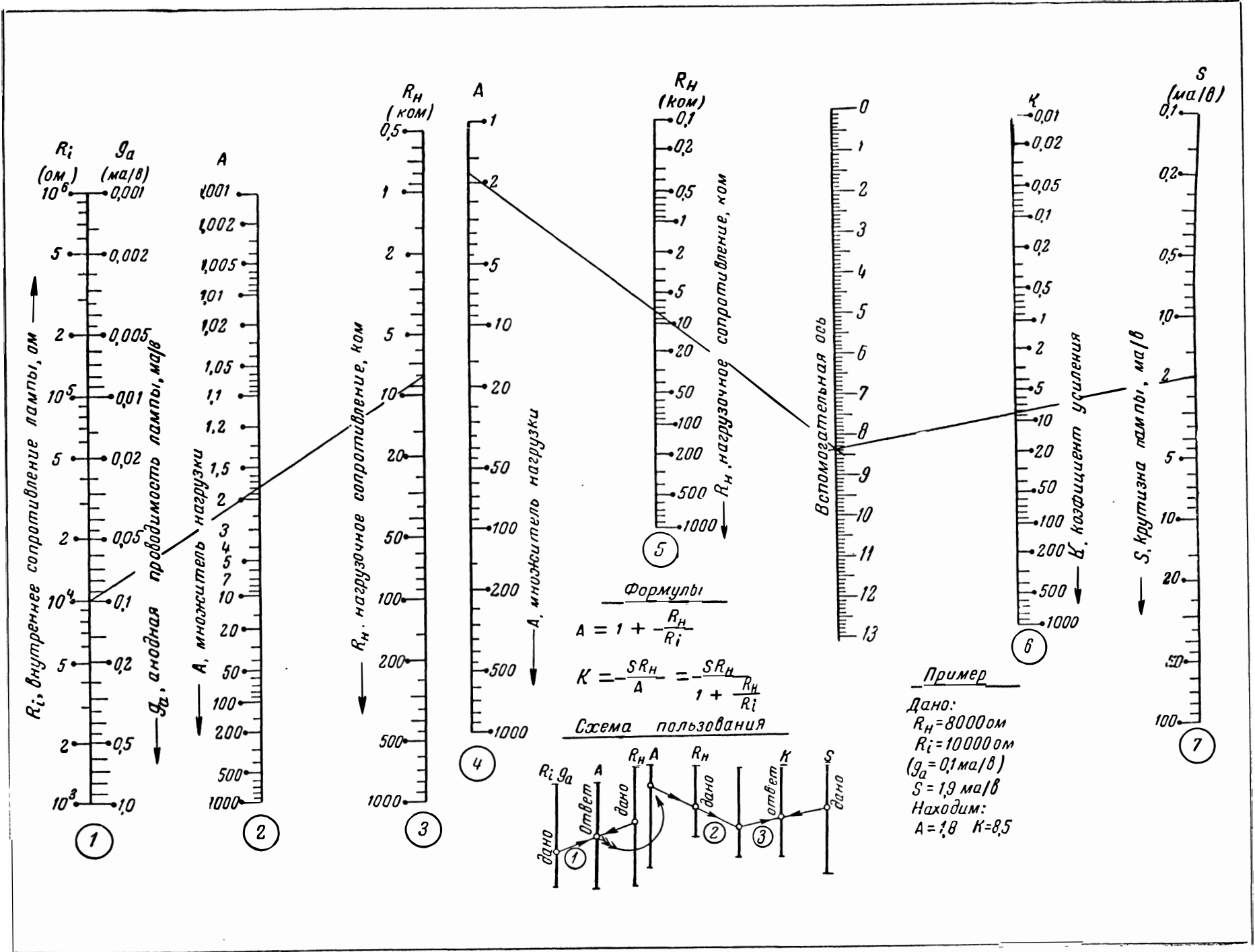
$R_i = 75000$ ом; $C_{ш} = 85$ мкмкф

$R_a = 0,2$ мгом; $R_c = 0,5$ мгом
находим.

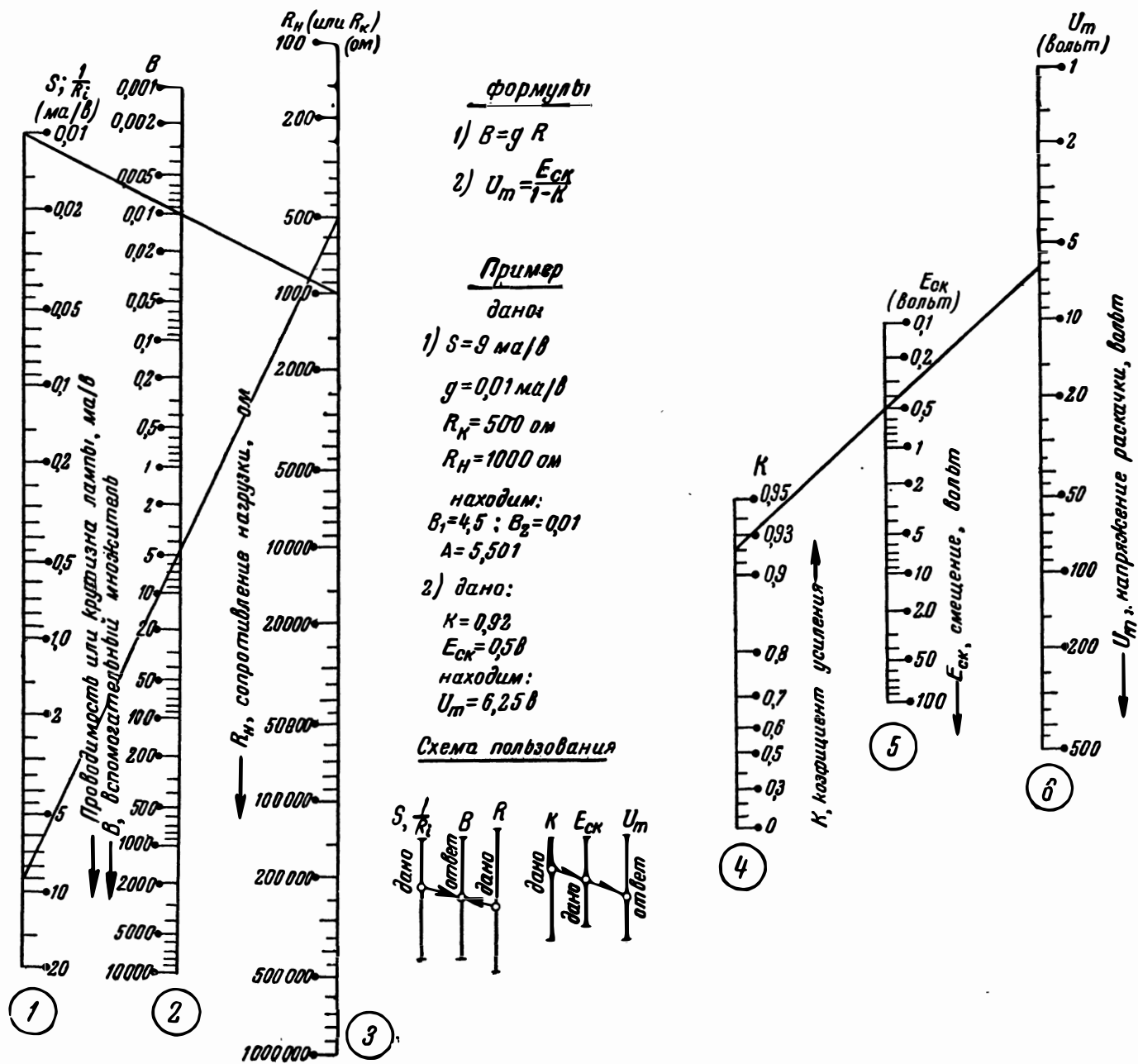
$K_0 = 65$

$C_c = 0,02$ мкф

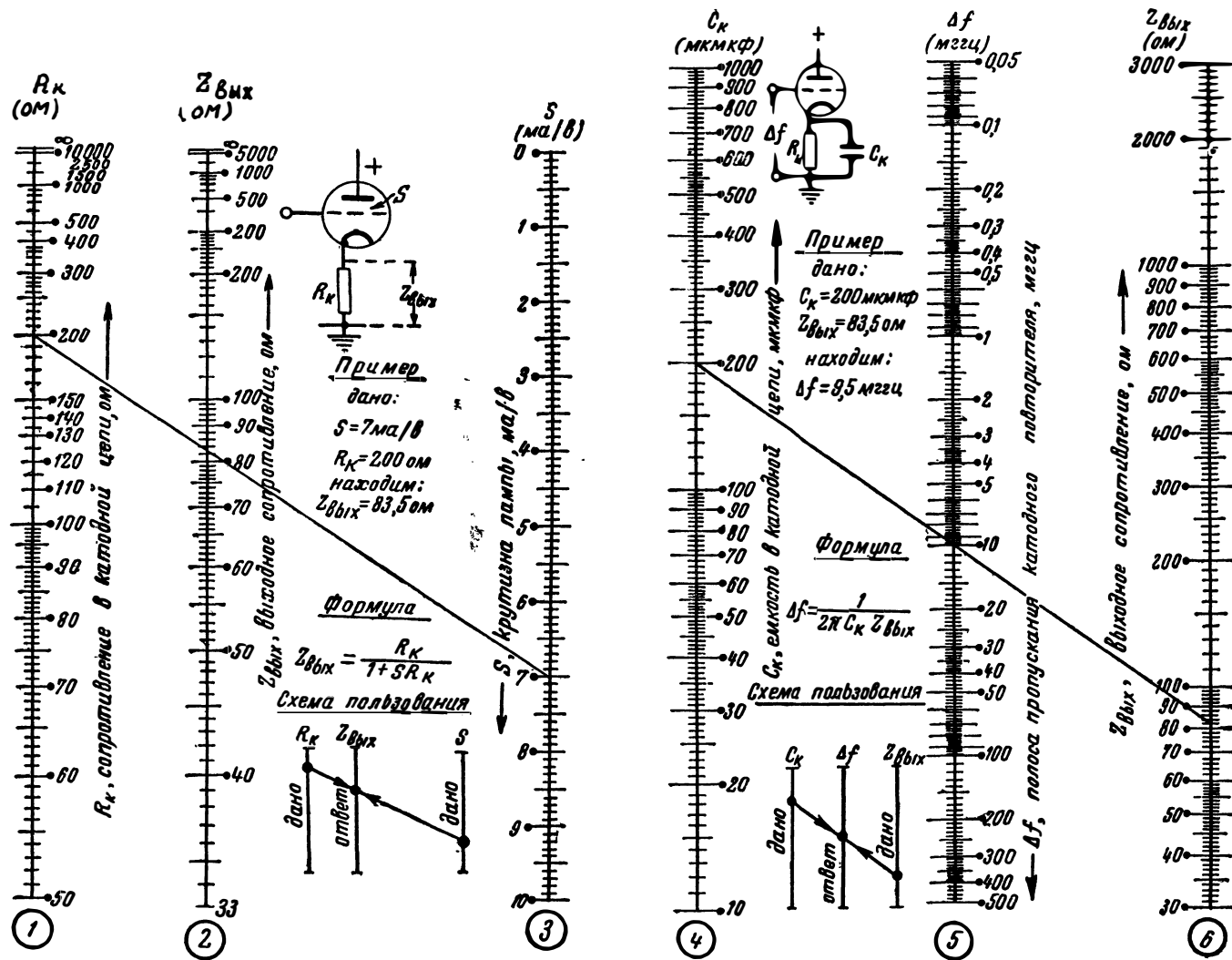
Номограмма № 15. Усилитель низкой частоты с емкостной связью между каскадами.



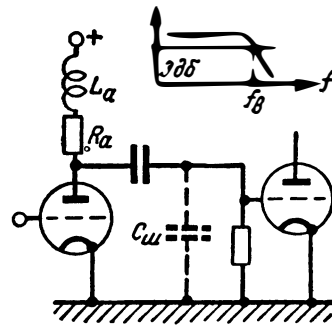
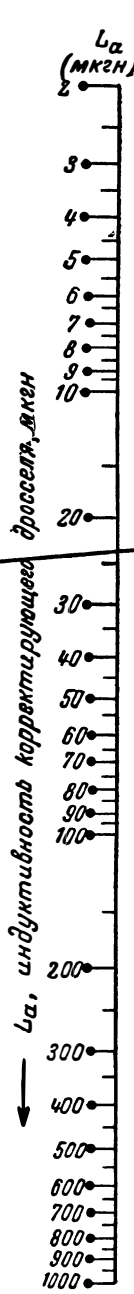
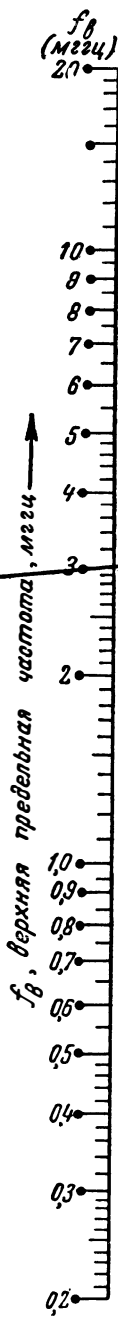
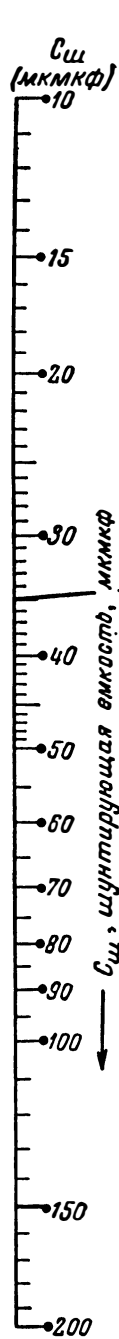
Номограмма № 16. Коэффициент усиления усилителей с обратной связью,



Номограмма № 17. Амплитуда сигналов в усилителе с обратной связью.



Номограмма № 18. Расчет катодного повторителя.



Формулы

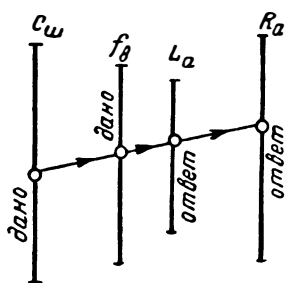
$$R_a = \frac{0,85}{2\pi f_{\beta} C_{ш}}$$

$$L_a = 0,415 C_{ш} R_a^2$$

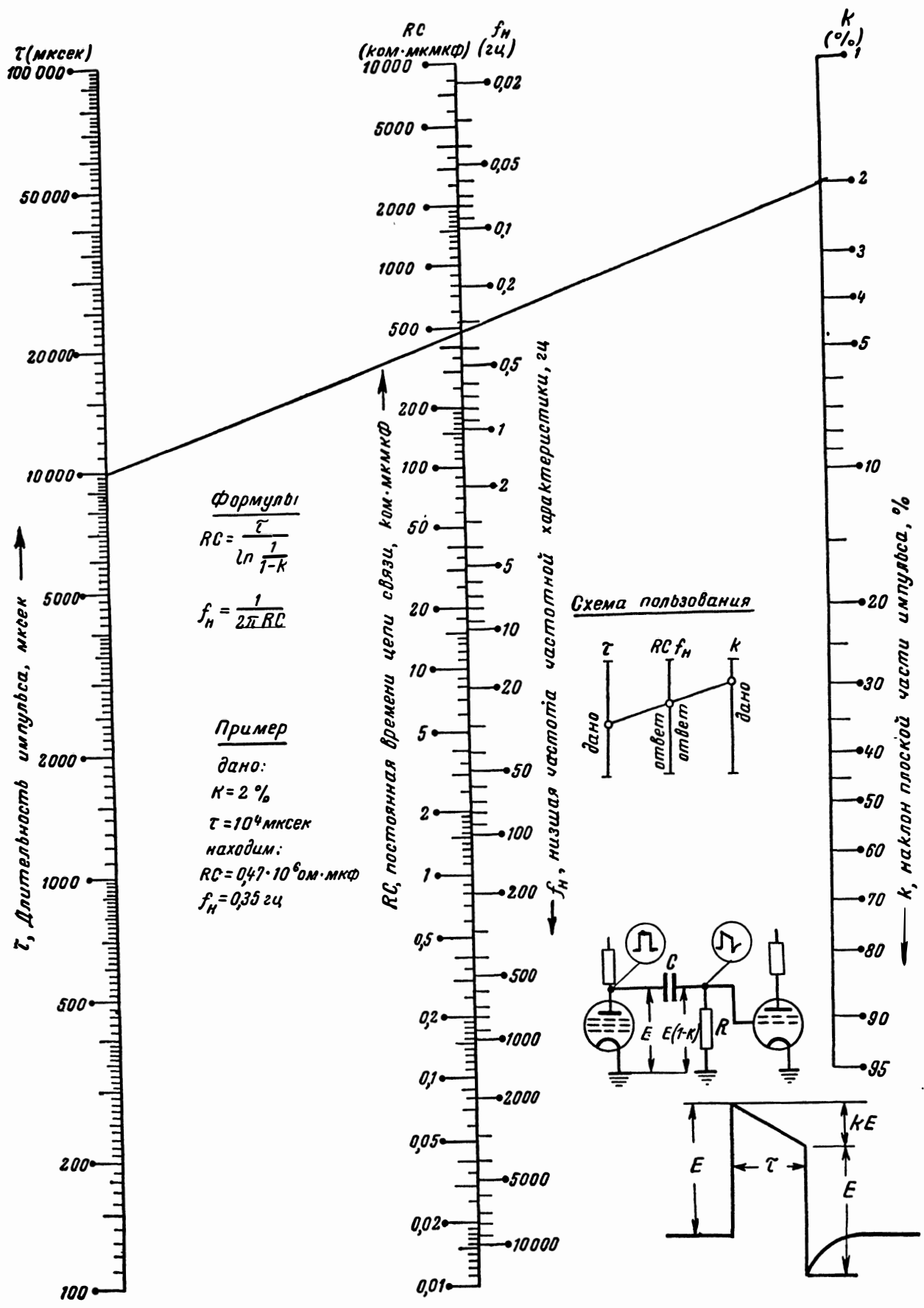
Пример

дано:
 $C_{ш} = 35$ мккф
 $f_{\beta} = 3$ мггц
 находим:
 $R_a = 1280$ ом
 $L_a = 24$ мкгн

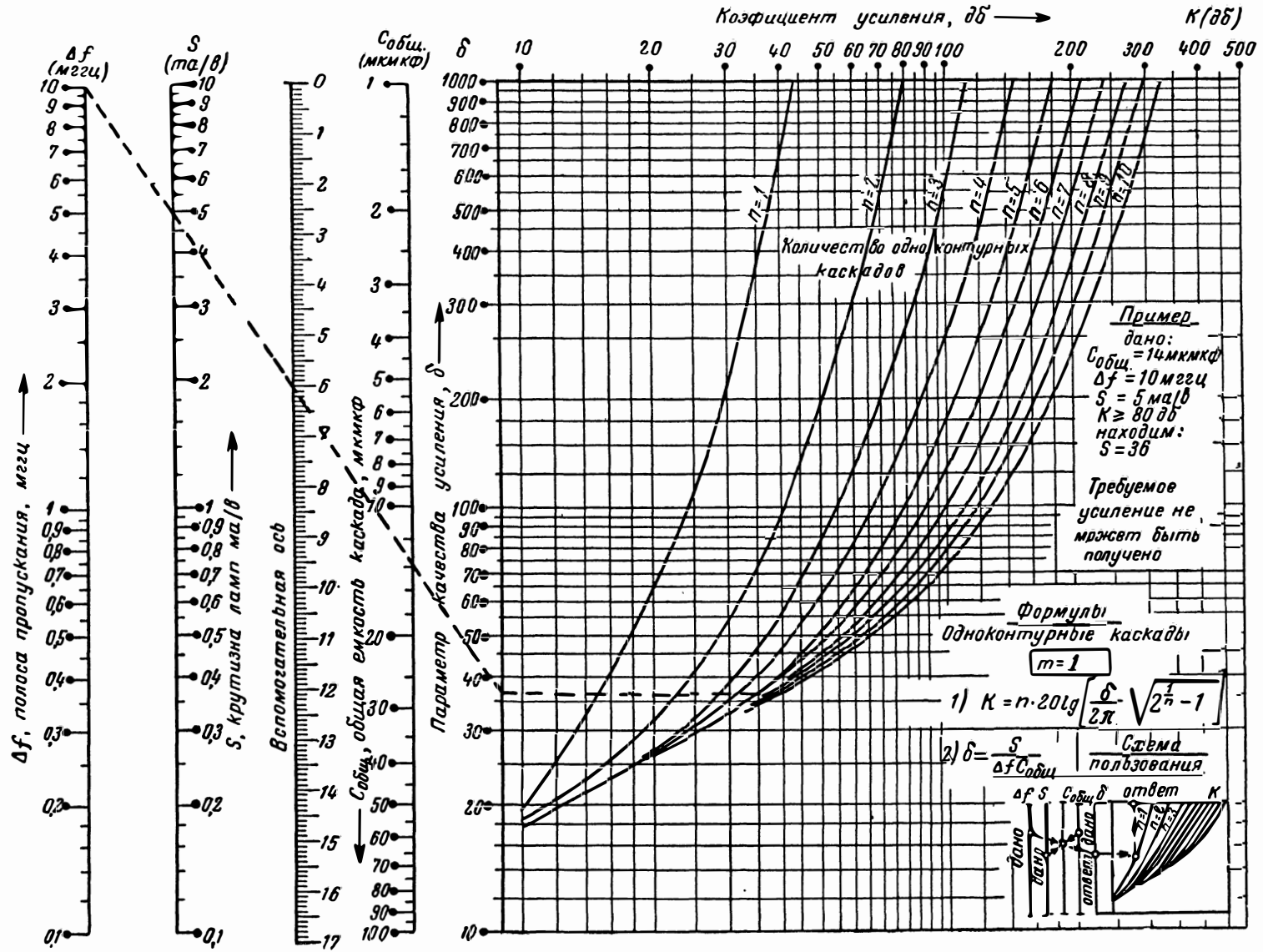
Схема пользования



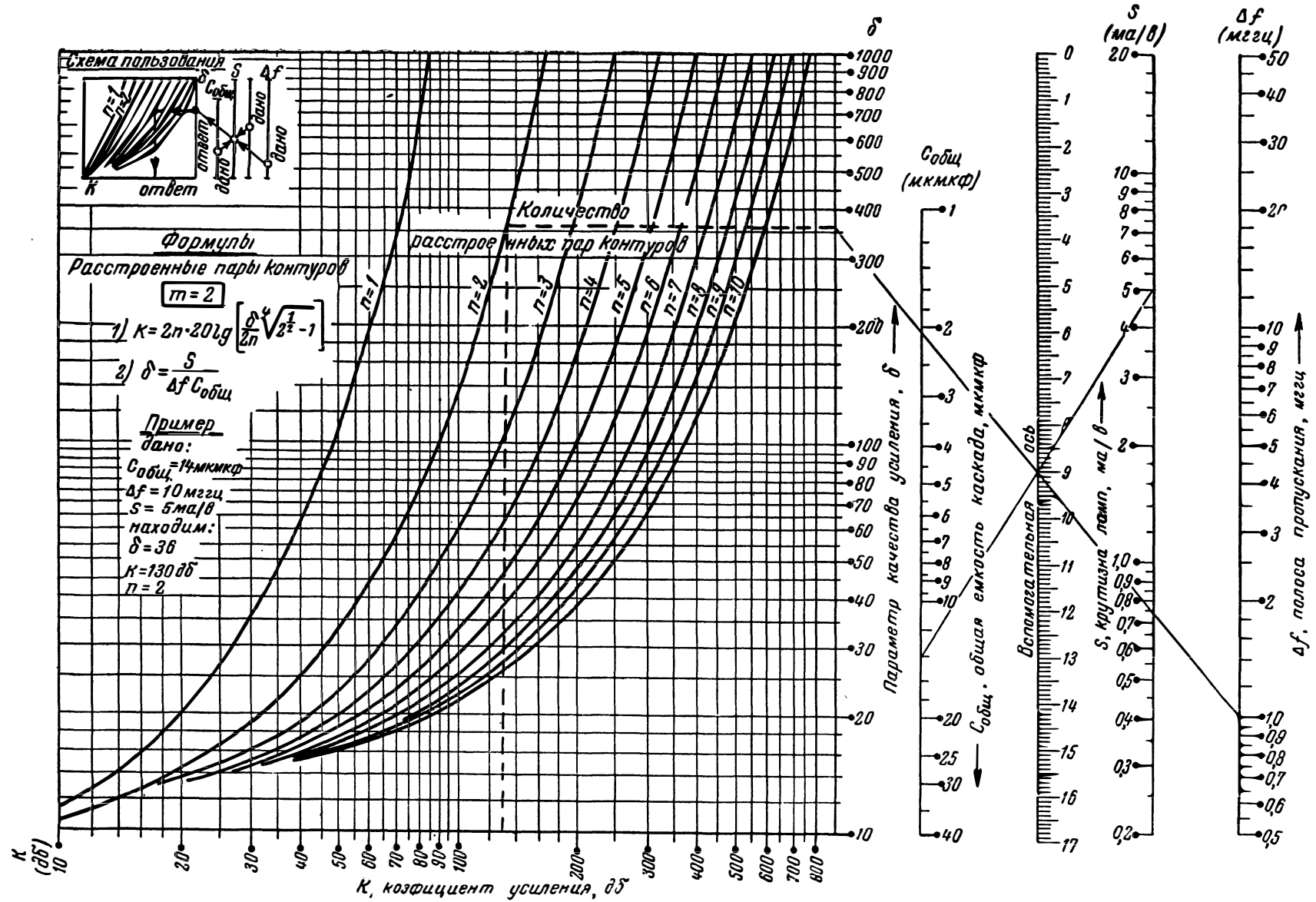
Номограмма № 19. Расчет корректирующего дросселя в видеоусилителе.



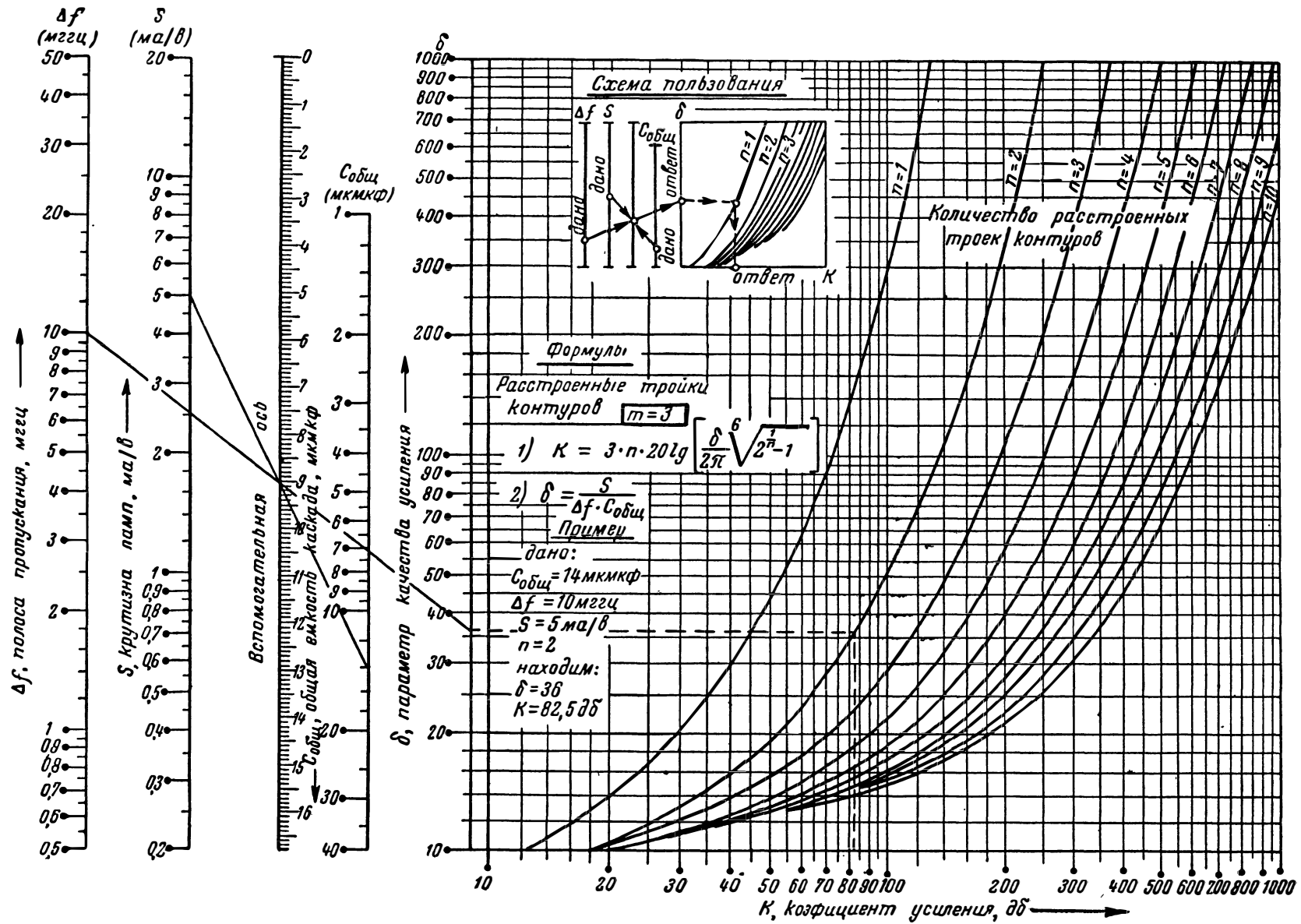
Номограмма № 20. Цепь связи в видеосилителе.



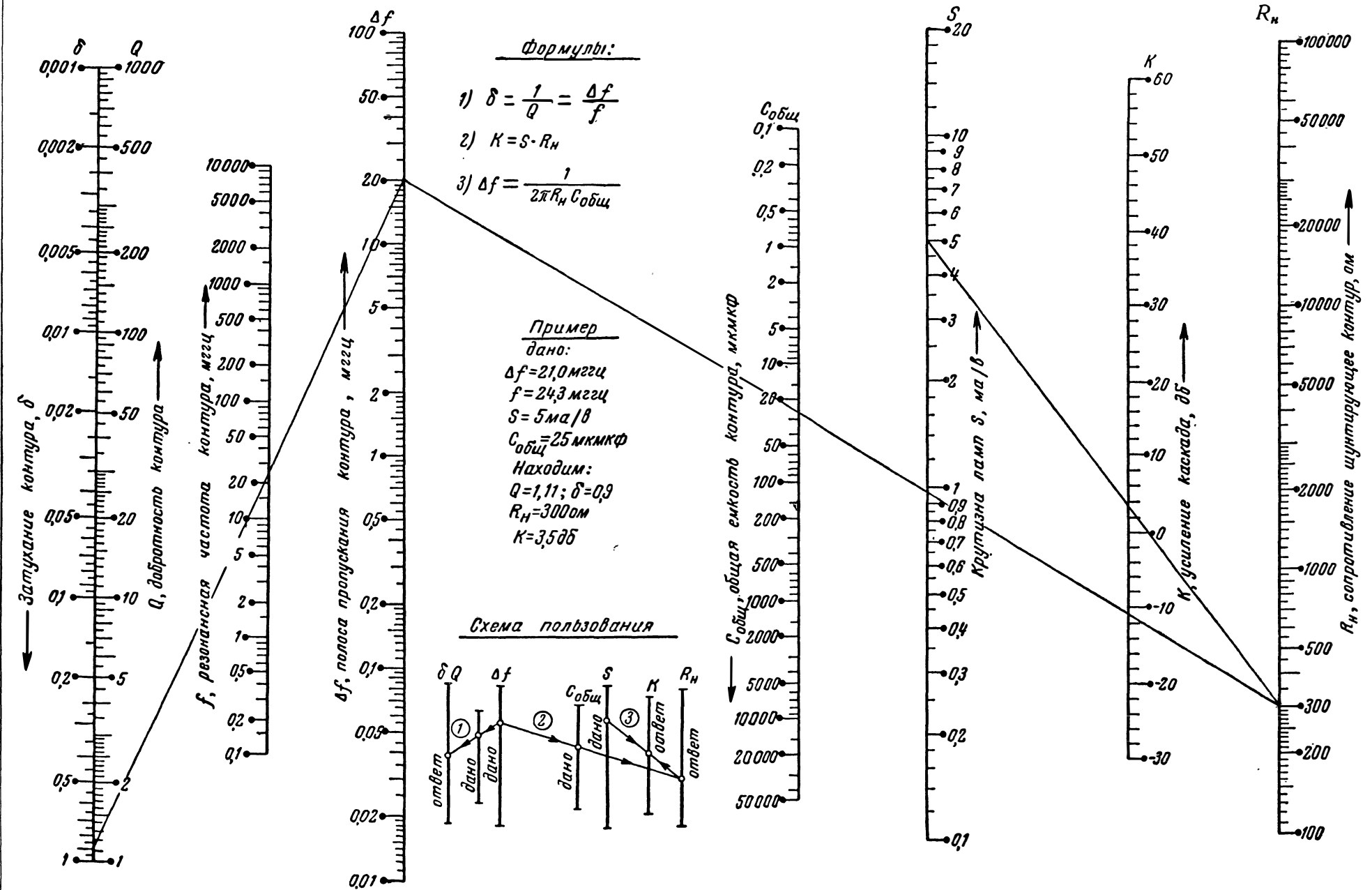
Номограмма № 21. Усилитель с одноконтурными каскадами.



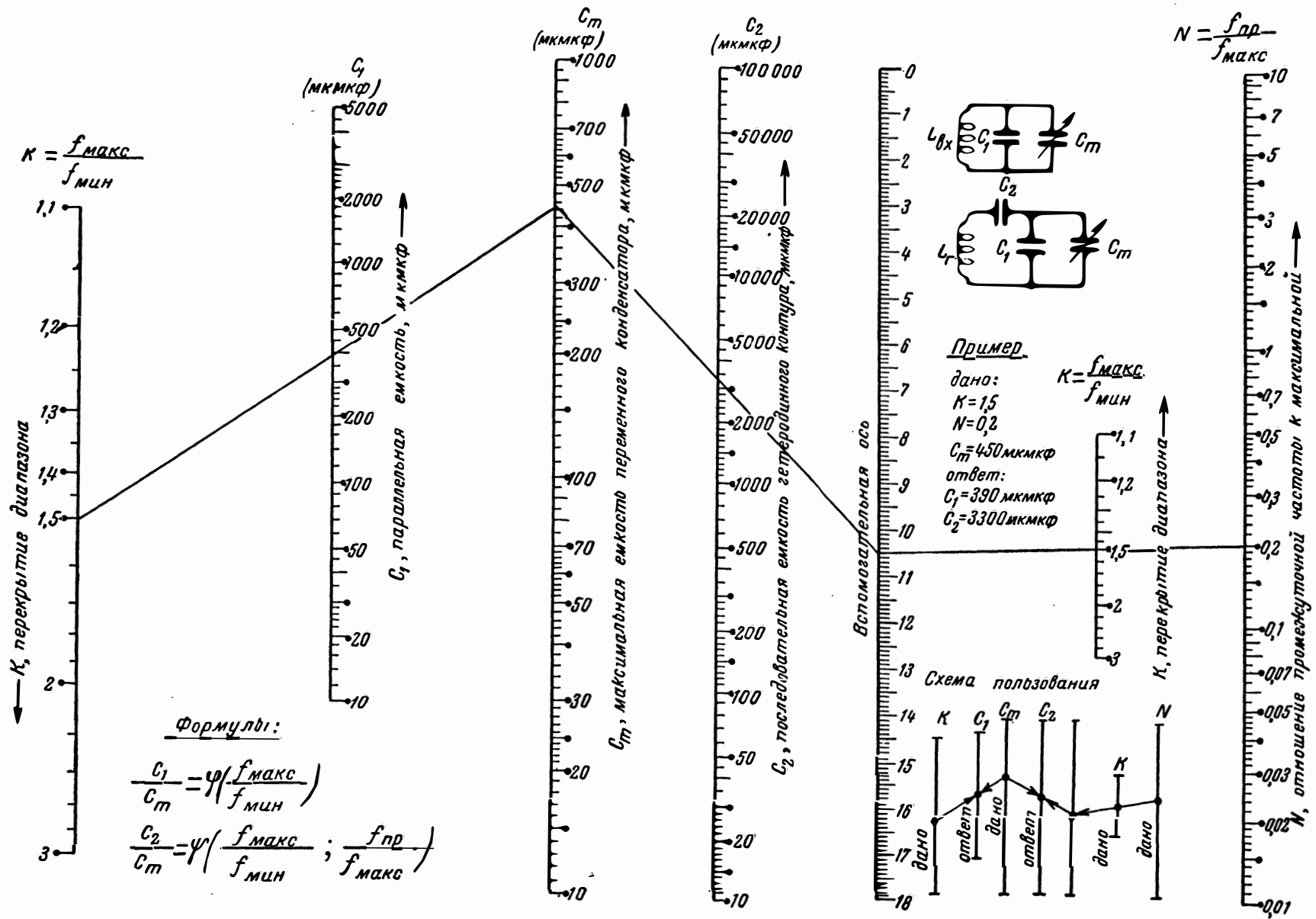
Номограмма № 22. Усилитель с расстроенными парами контуров.



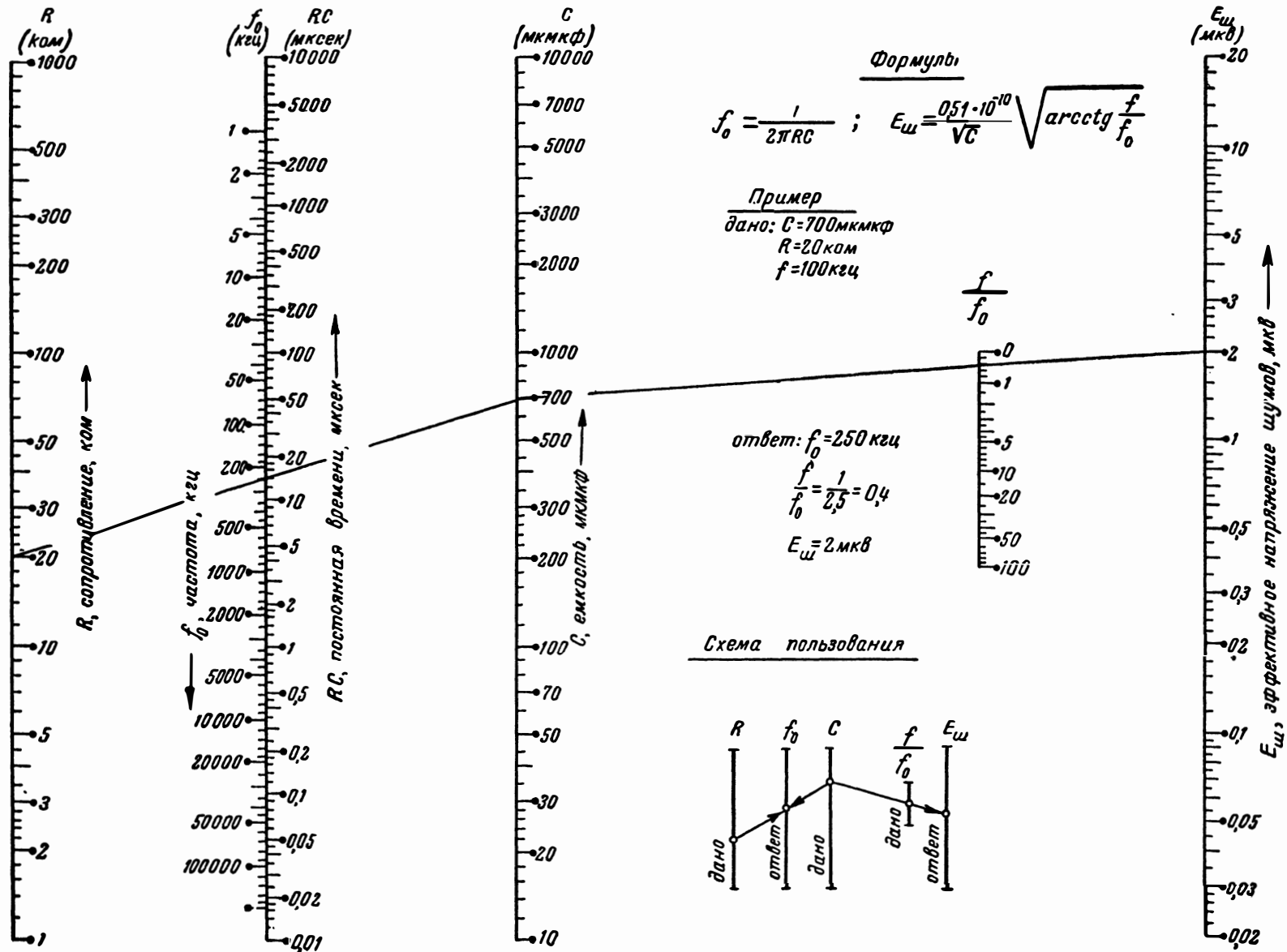
Номограмма № 23. Усилитель с расстроенными тройками контуров.



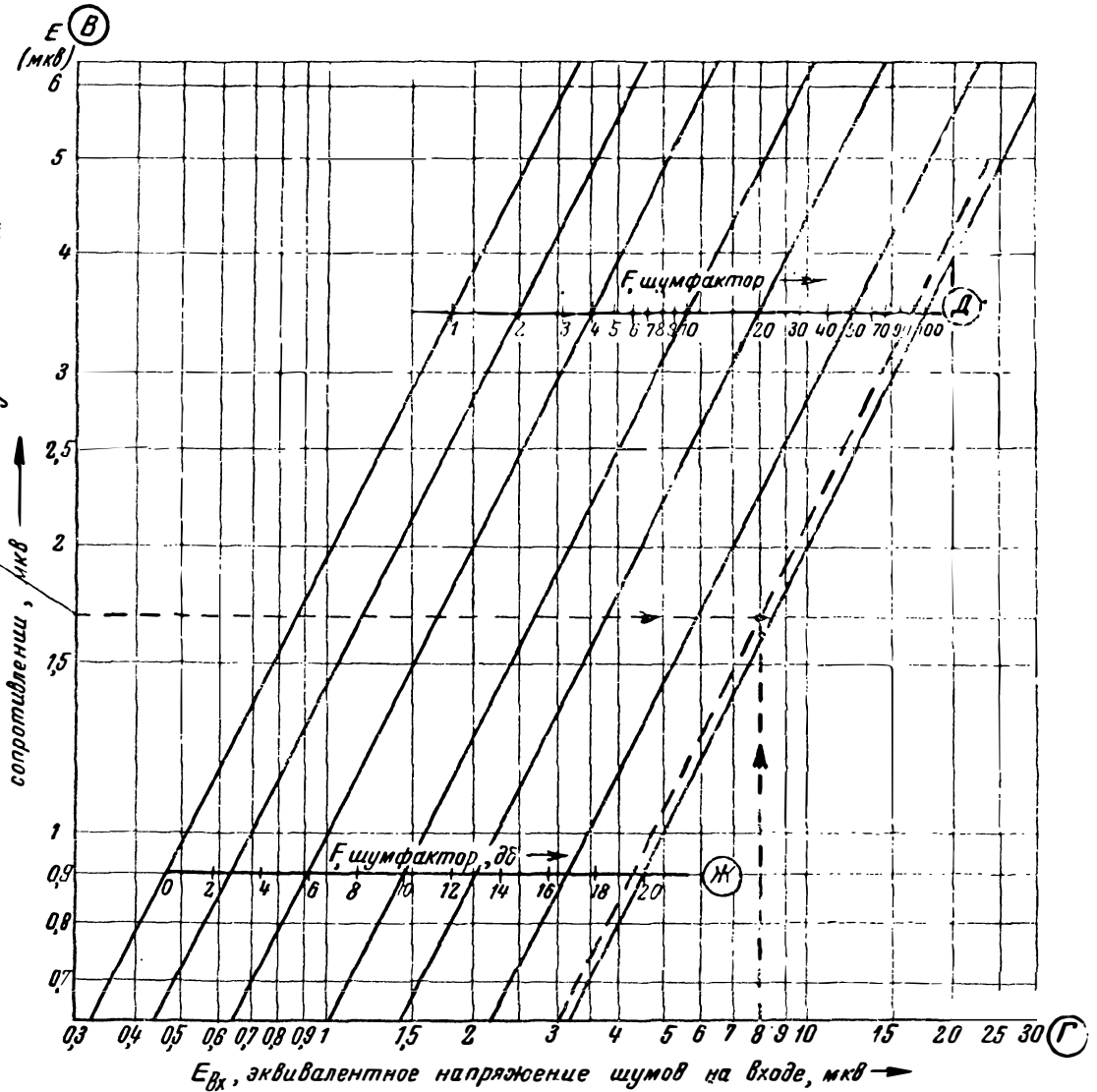
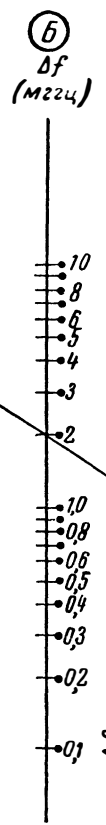
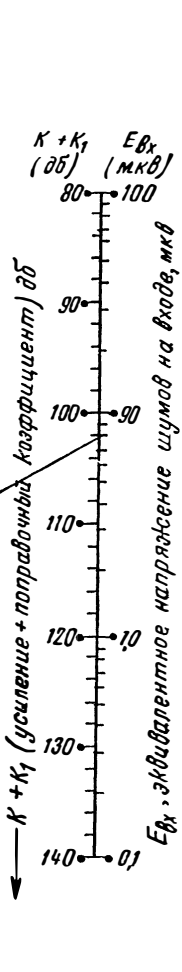
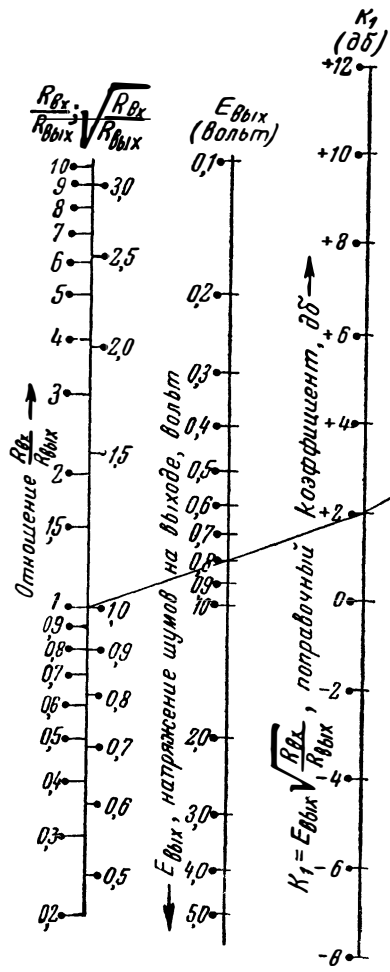
Номограмма № 24. Номограмма для расчета отдельных каскадов усилителя.



Номограмма № 25. Сопряжение контуров в супергетеродине.



Нограмма № 26. Тепловые шумы параллельной RC цепи.

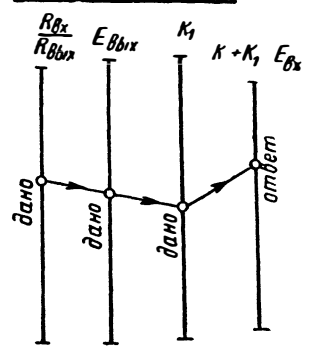


Формула

$$E_{вх} = \frac{E_{вых} \sqrt{R_{вх}}}{K \sqrt{R_{вых}}}$$

Пример
 дано:
 $K = 100 \text{ дБ}$
 $R_{вх} = R_{вых} = 90 \text{ Ом}$
 $E_{вых} = 0.8 \text{ В}$
 находим:
 $E_{вх} = 8 \text{ мкВ}$

Схема пользования

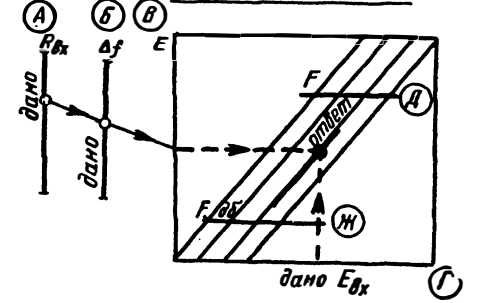


Формулы

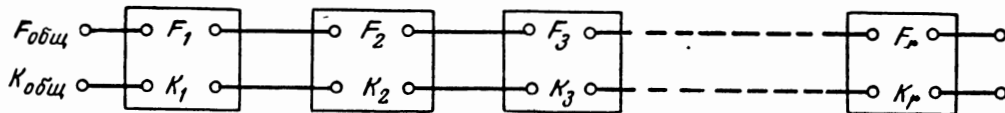
$$F = \frac{E_{вх}^2}{kT\Delta f R_{вх}}; E = \sqrt{4kT\Delta f R_{вх}}$$

Пример
 дано:
 $R_{вх} = 90 \text{ Ом}; \Delta f = 2 \text{ МГц}; E_{вх} = 8 \text{ мкВ}$
 находим: $F = 89 = 19.5 \text{ дБ}$

Схема пользования



Номограмма № 27. Шумфактор четырехполюсников.



Формулы:

1) $F_{общ} = F_1 + F_2' + F_3' + \dots + F_p'$

2) $F_p' = \frac{F_p - 1}{K_p}$

3) $K_p' = K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_p = \sum_{i=1}^p K_i$

Пример

дано

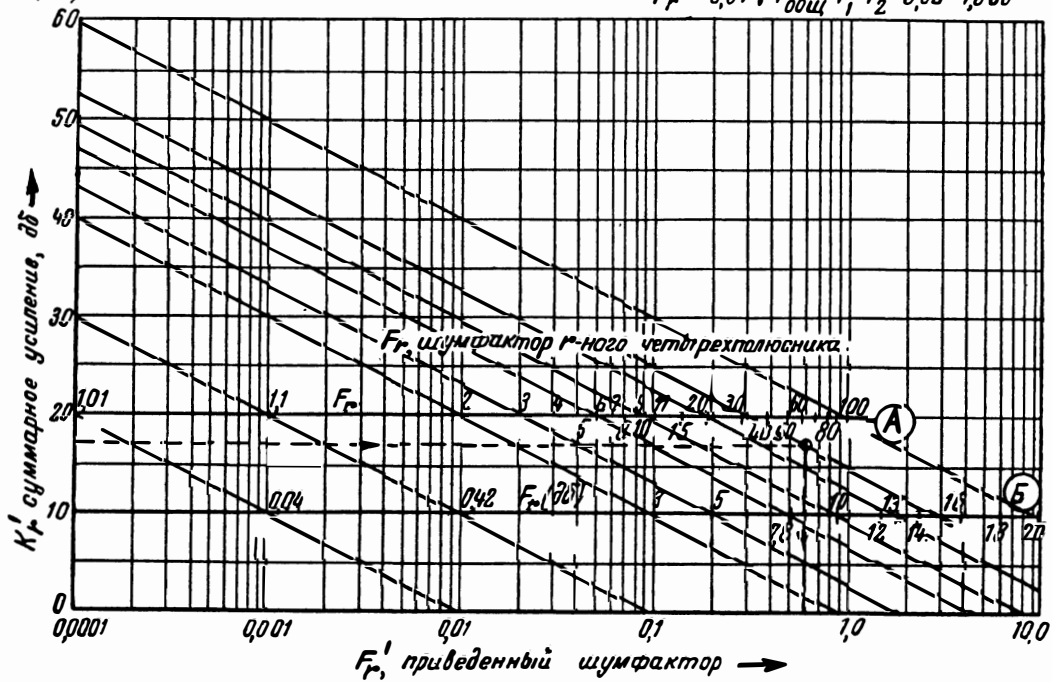
$F_1 = 5,01 (7 \text{ дБ})$

$F_2 = 31,6 (15 \text{ дБ})$

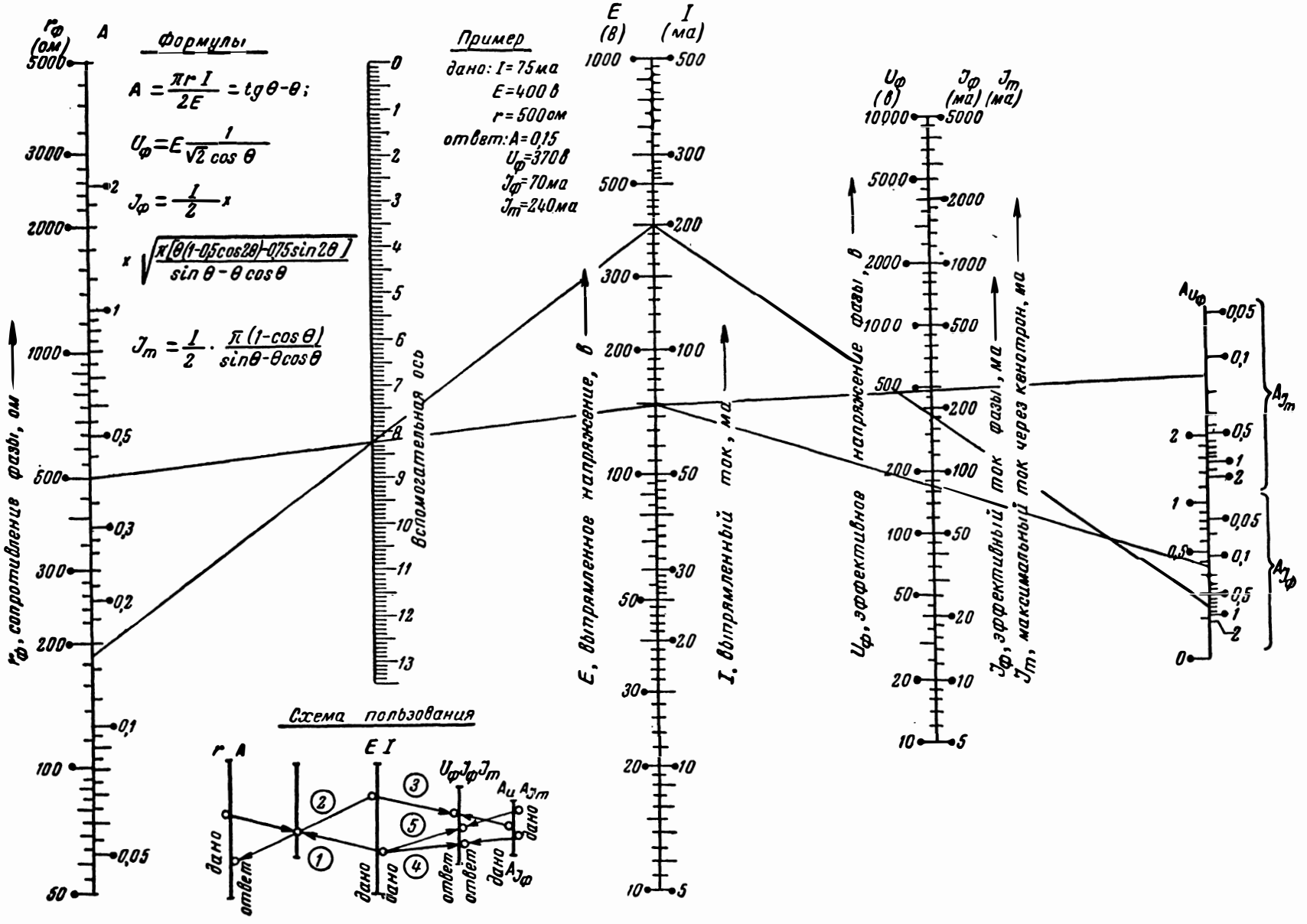
$K_p' = K_1 + K_2 = 50,1 = 17 \text{ дБ}$

Находим

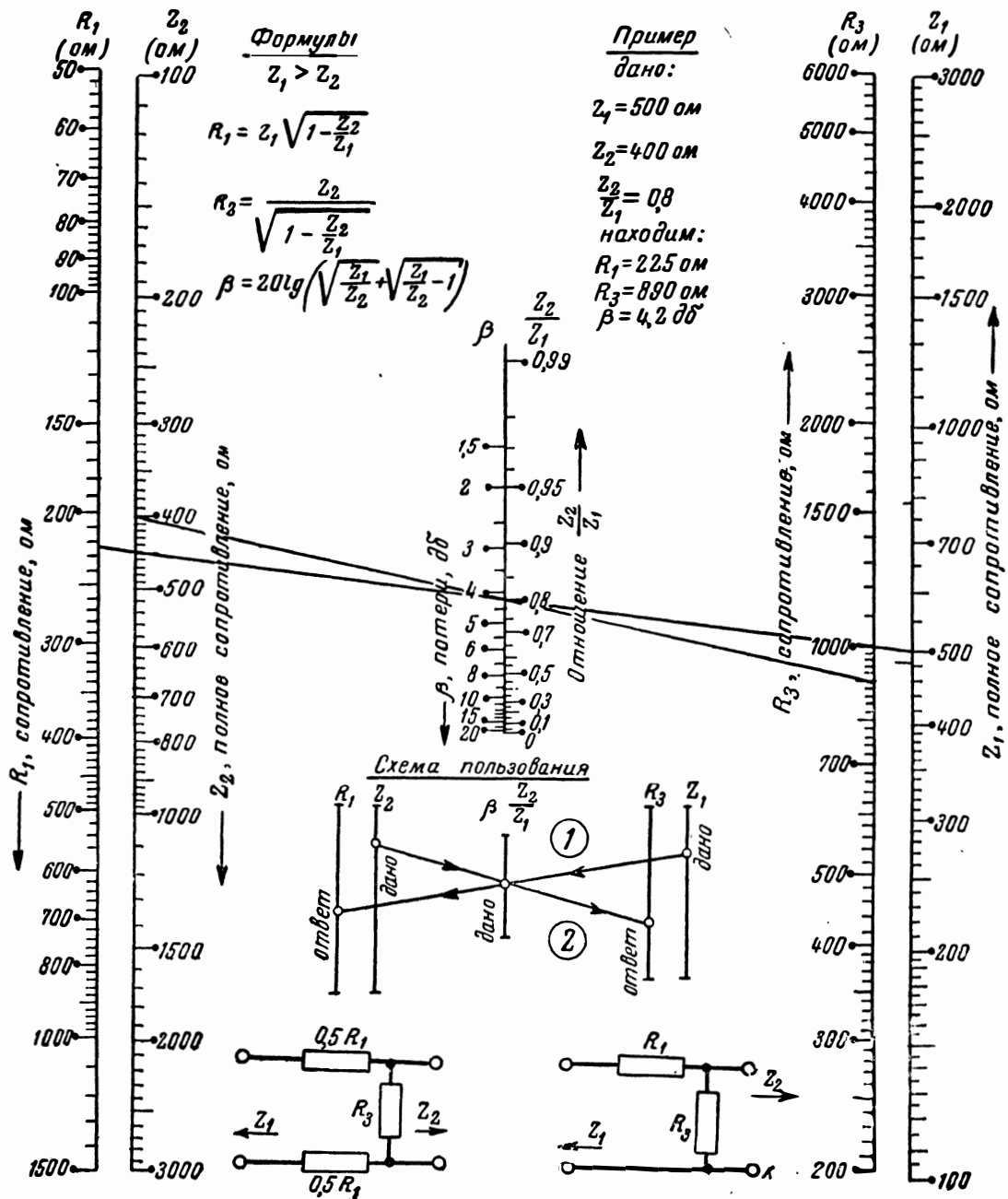
$F_p' = 0,61 ; F_{общ} = F_1 + F_2' = 5,62 = 7,5 \text{ дБ}$



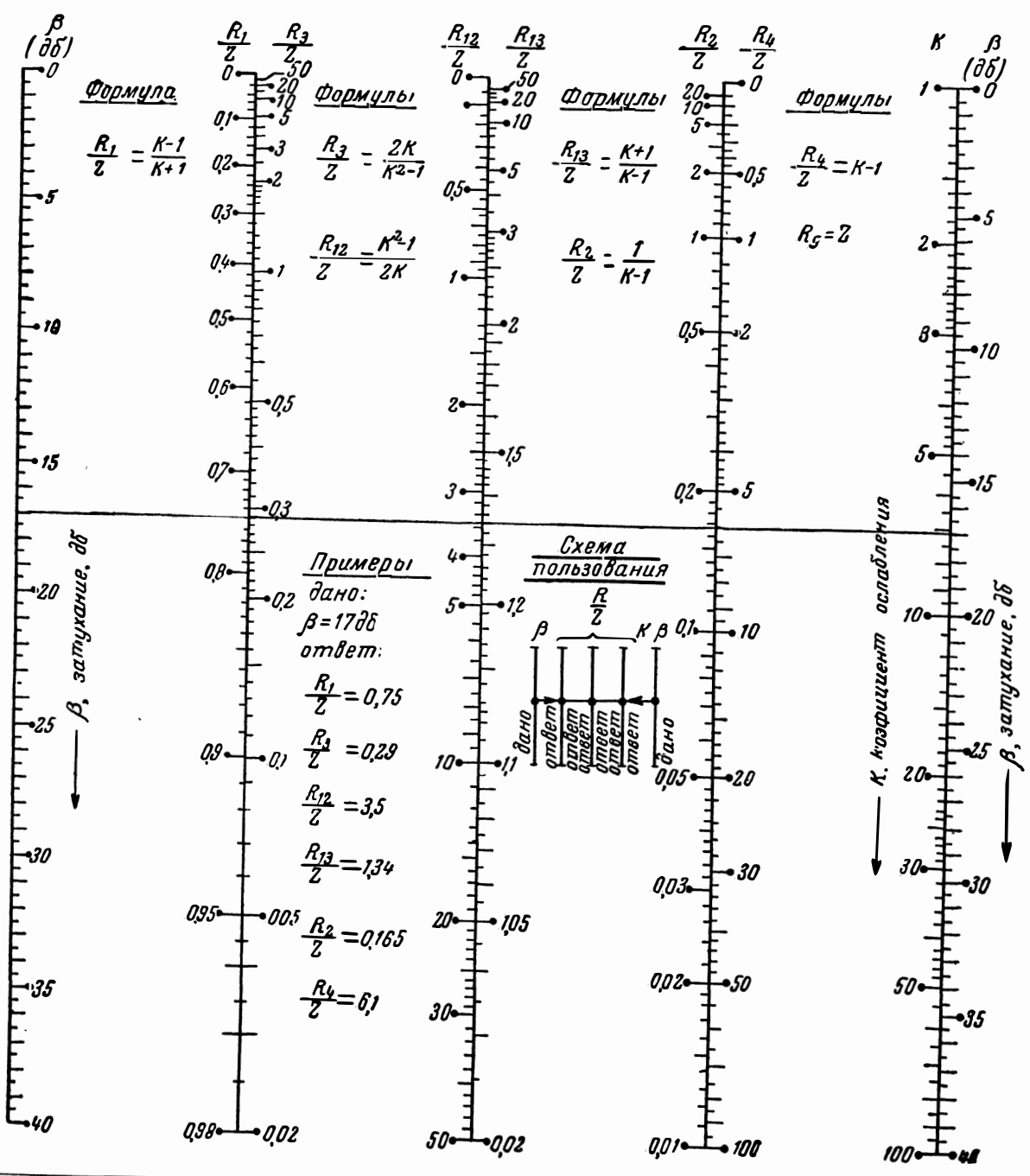
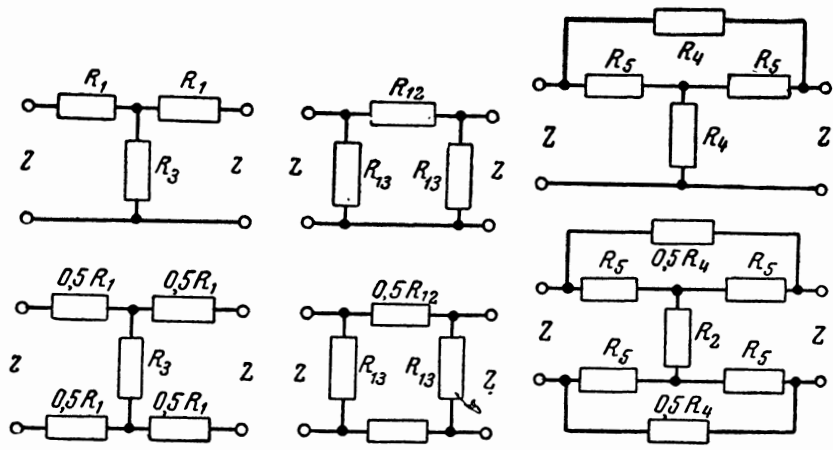
Номограмма № 28. Шумфактор последовательно соединенных четырехполюсников.



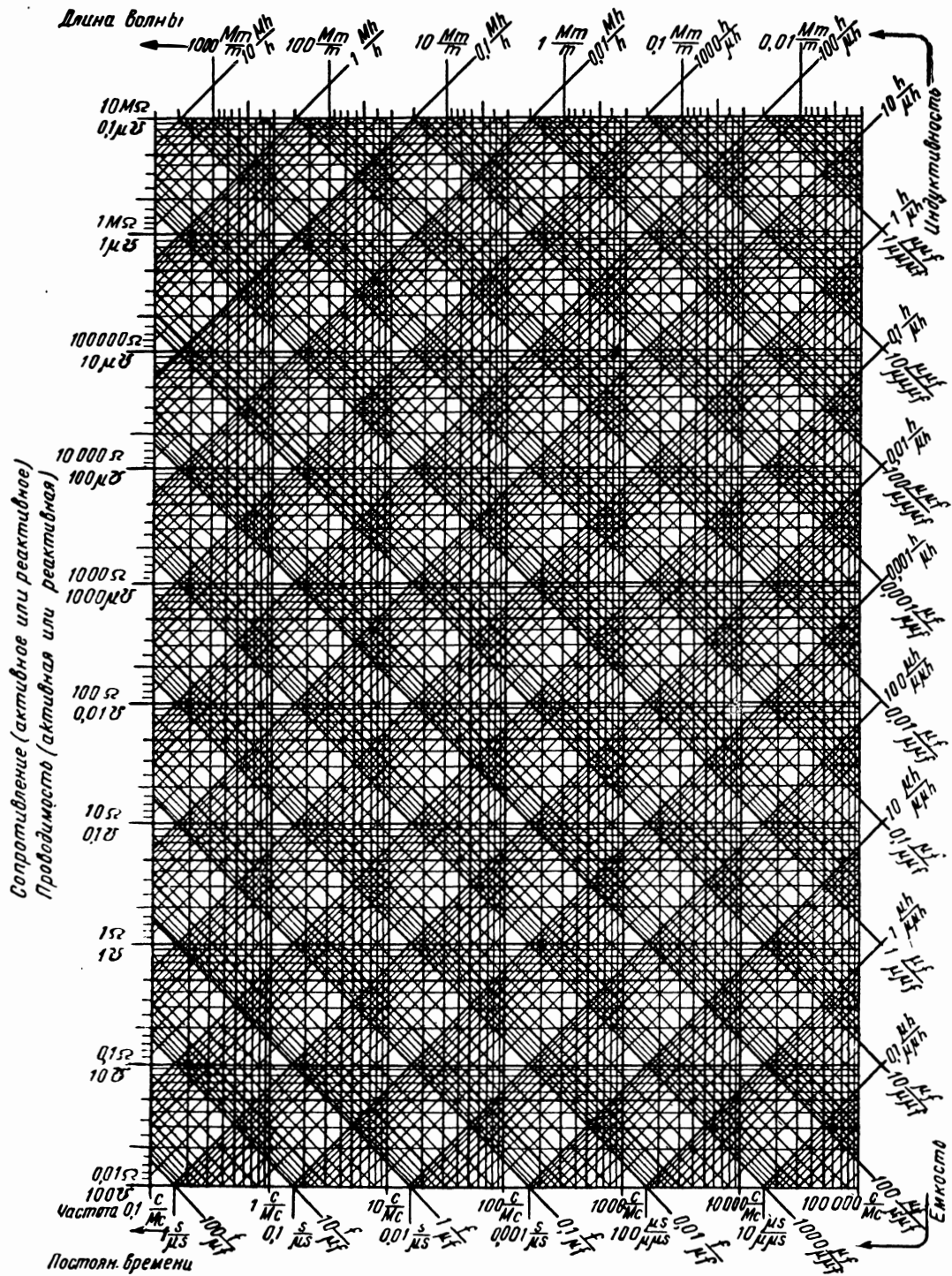
Номограмма № 29. Расчет маломощного выпрямителя.



Номограмма № 30. Согласующие четырехполюсники с минимальным затуханием.

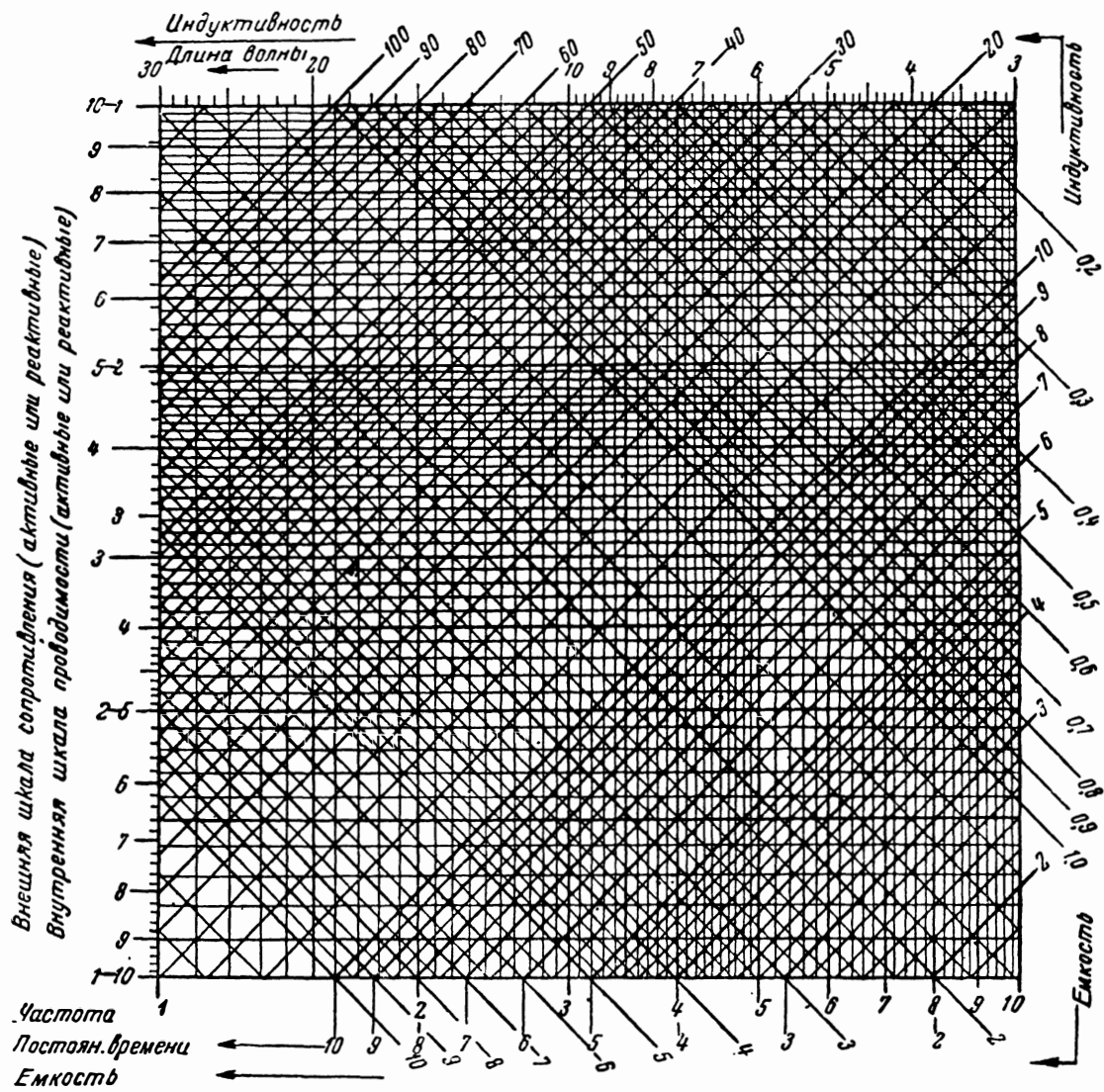


Нограмма № 31. Расчет T- и H-образных ослабителей.



Примечание. Все величины на шкалах имеют двойное обозначение. Верхние обозначения относятся к низким частотам, нижние — к высоким. Эти обозначения даны в виде дробей. Левая шкала (сопротивления и проводимости) одинакова для всех частот. Полный диапазон частот составляет от 0,1 гц до 10^8 мггц. Все величины должны отсчитываться либо только по верхним, либо только по нижним знакам всех шкал. Для получения более четкого чертежа и экономии места на этой номограмме применены, в отличие от всех прочих разделов книги, международные, а не русские обозначения единиц.

Номограмма № 32. Номограмма для ориентировочных расчетов линейных схем.



$$R = 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{L}{t_c} = \frac{t_c}{C}$$

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C} = CR^2 = Rt_c = \frac{t_c^2}{C}$$

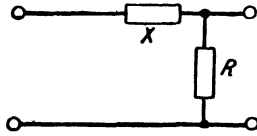
$$C = \frac{1}{2\pi fX} = \frac{1}{4\pi^2 f^2 L} = \frac{L}{R^2} = \frac{t_c}{R} = \frac{t_c^2}{L}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{X}{2\pi L} = \frac{1}{2\pi CX} = \frac{1}{2\pi t_c} = \frac{300}{\lambda}$$

$$t_c = \sqrt{LC} = \frac{L}{R} = CR = \frac{1}{2\pi f} = \frac{\lambda}{2\pi \times 300} \times 10^{-8}$$

$$\lambda = 2\pi\sqrt{LC} \times 300 \times 10^6 = \frac{300}{f} \times 10^6 = 2\pi t_c \times 300 \times 10^6$$

Номограмма № 33. Номограмма для точных расчетов линейных схем.



Формулы

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}$$

$$Z = \frac{R}{\cos \varphi}$$

Пример

дано:
 $R = 7 \text{ ком}$
 $X = 5 \text{ ком}$

ответ:
 $\varphi = 36^\circ$
 $Z = 8,6 \text{ ком}$

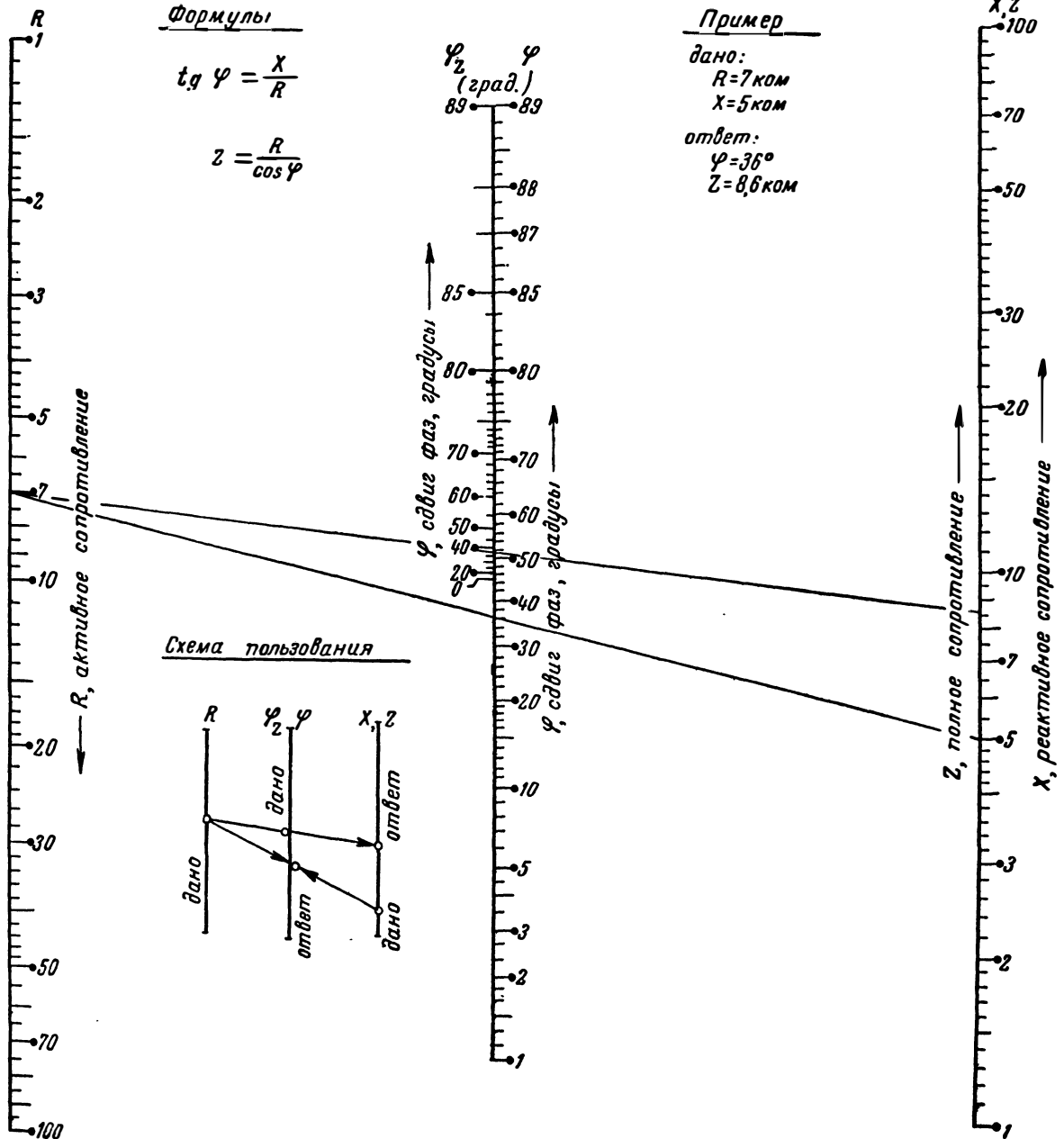
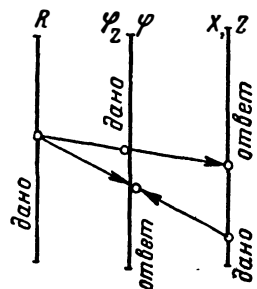
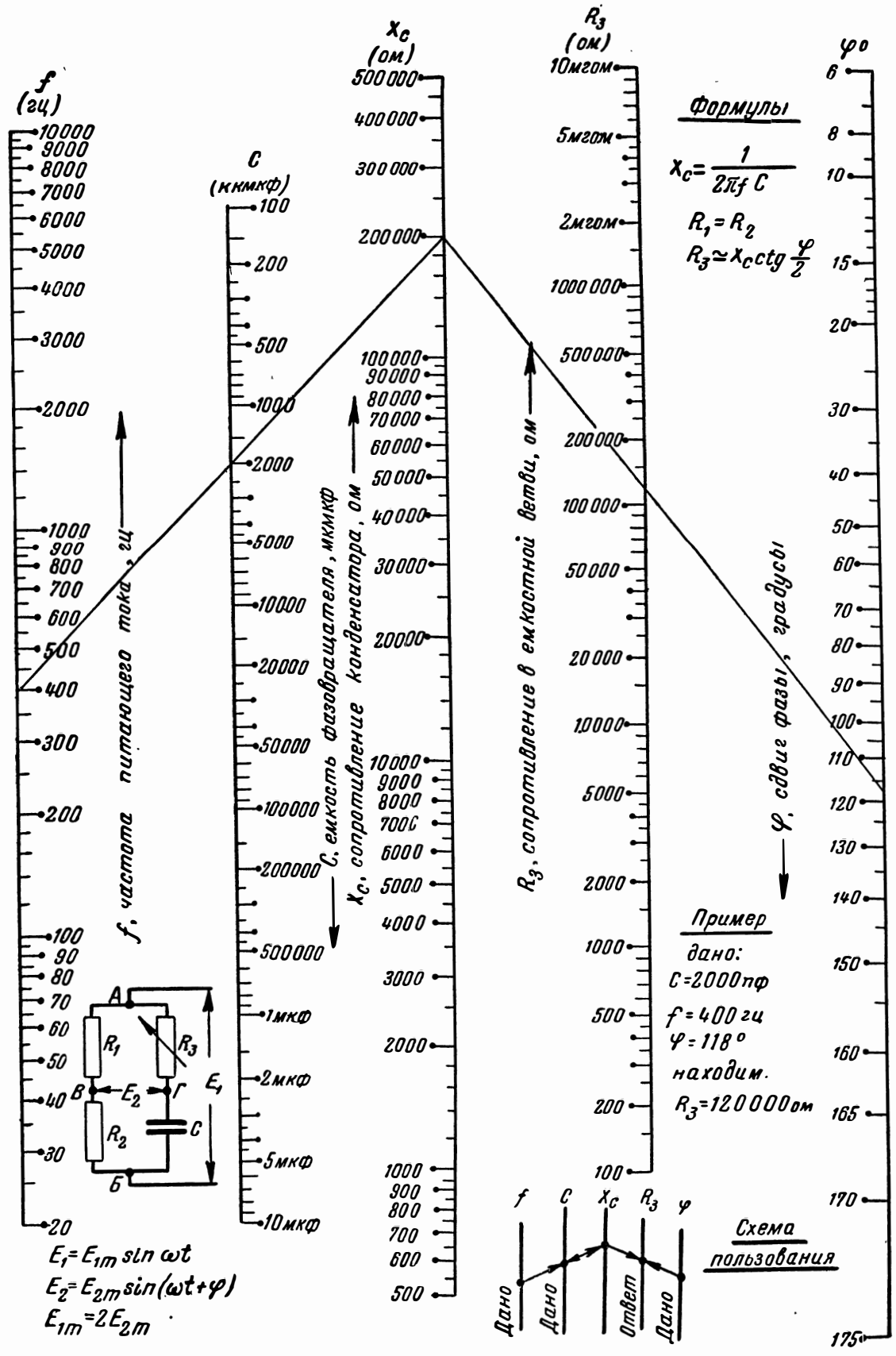


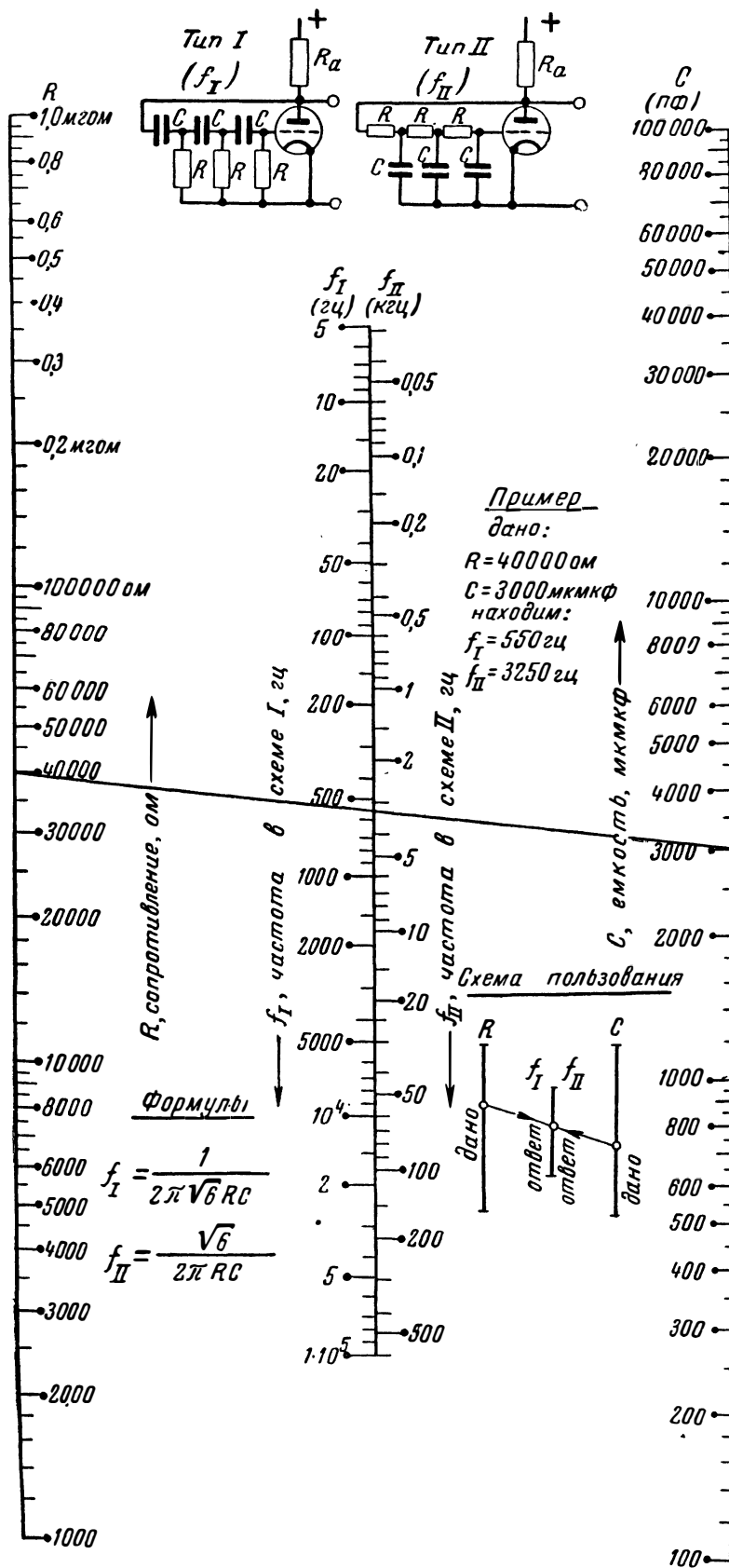
Схема пользования



Номограмма № 34. Фазосдвигающая цепь.

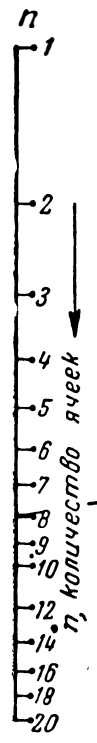
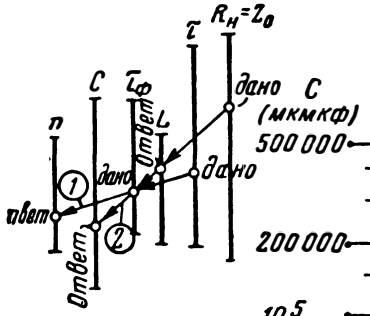
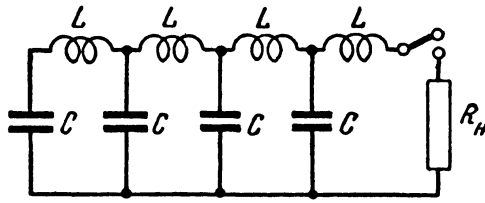


Номограмма № 35. Простейший фазовращатель.

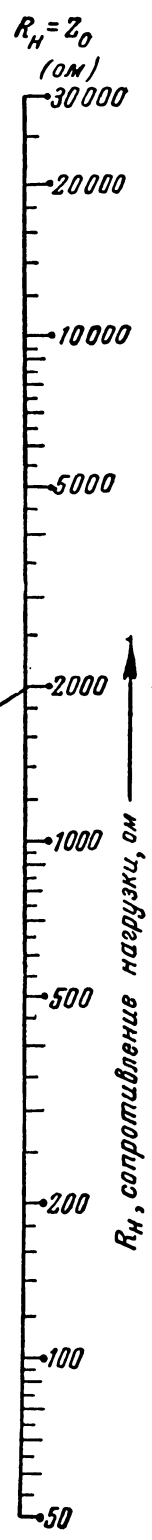
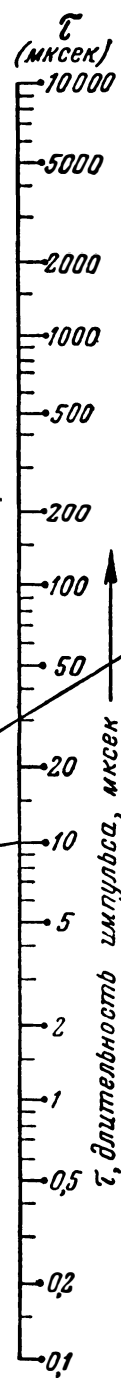
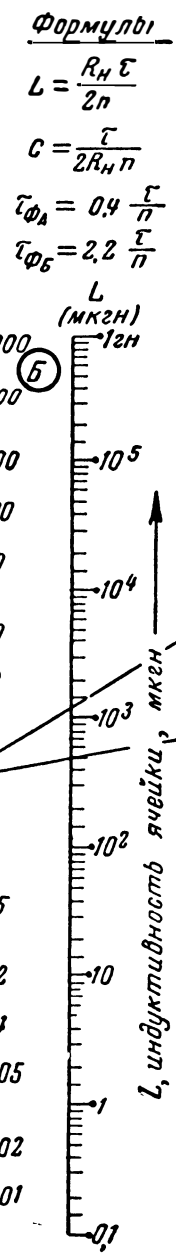
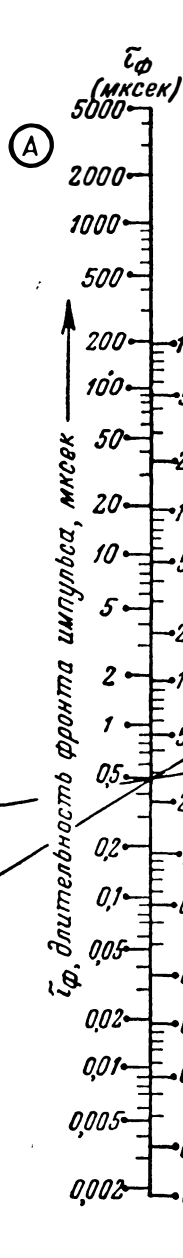
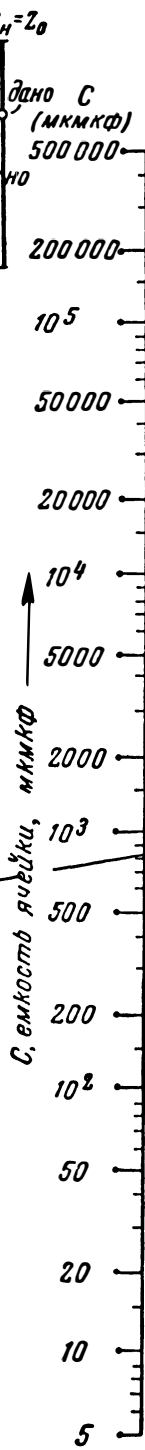


Номограмма № 36. Генераторы с фазовым сдвигом.

Схема пользования



Пример
 дано:
 $\tau = 10$ мксек
 $\tau_{\phi} = 0,5$ мксек
 $R_H = 2000$ ом
 находим:
 $n = 8$
 $L = 1300$ мкГн
 $C = 310$ мккФ



Формулы

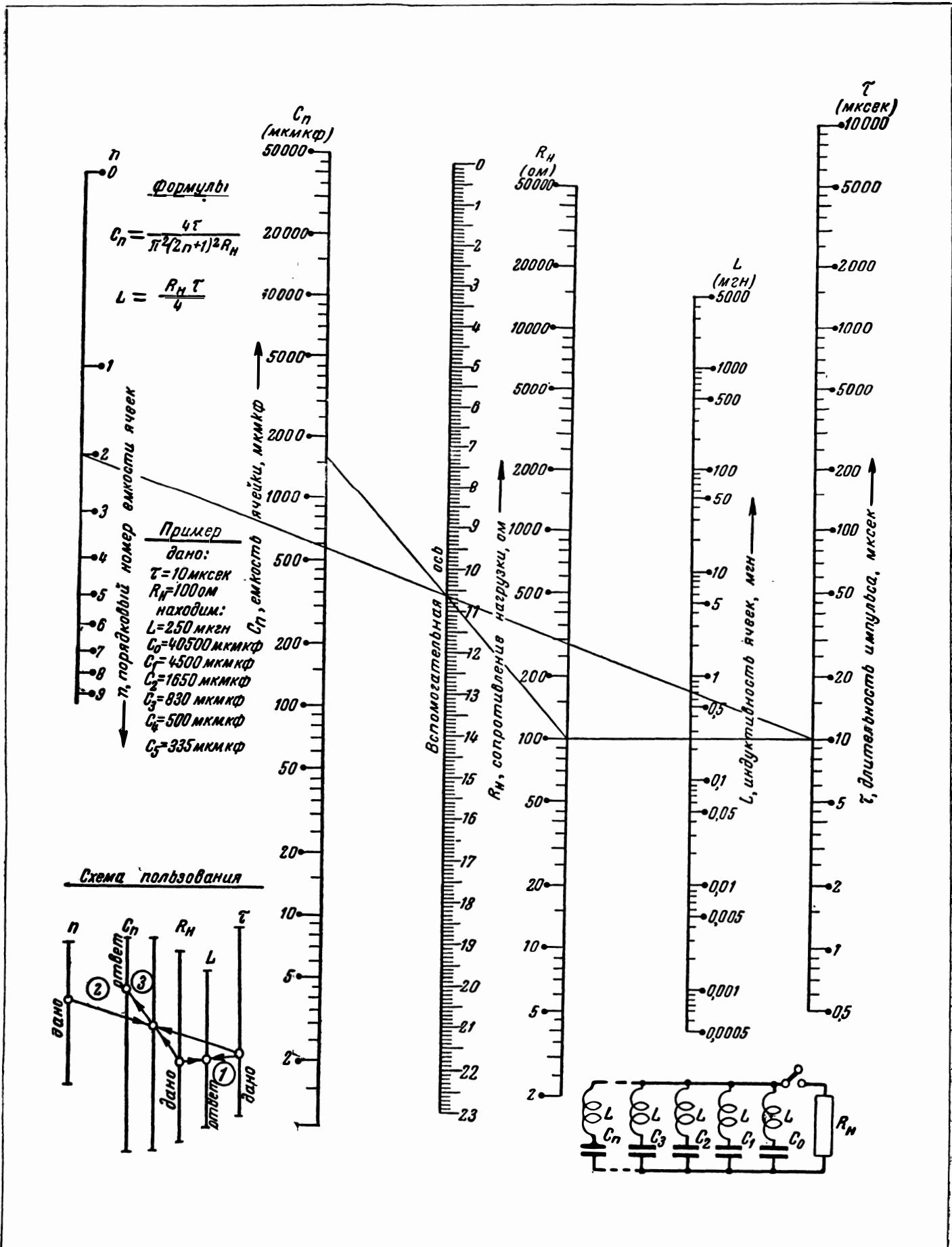
$$L = \frac{R_H \tau}{2n}$$

$$C = \frac{\tau}{2R_H n}$$

$$\tau_{\phi A} = 0,4 \frac{\tau}{n}$$

$$\tau_{\phi B} = 2,2 \frac{\tau}{n}$$

Номограмма № 37. Расчет искусственной длинной линии.



Номограмма № 38. Расчет формирующей цепочки, составленной из параллельно соединенных резонансных контуров.

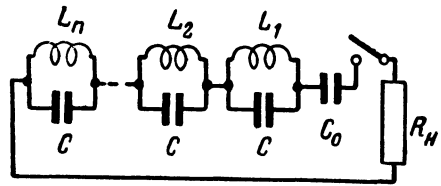
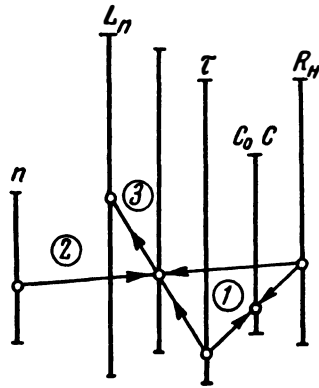


Схема пользования



Формулы

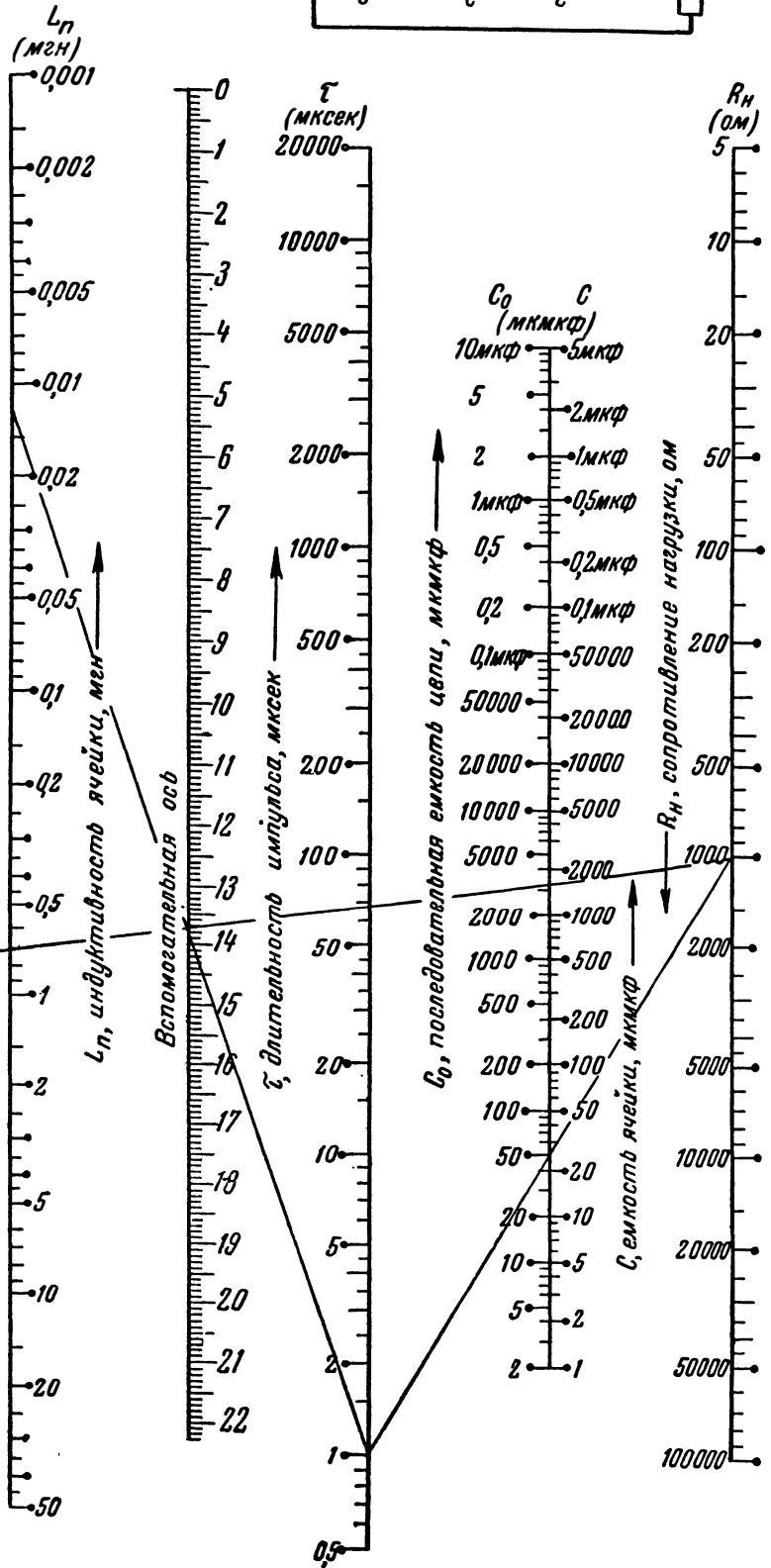
$$C = \frac{C_0}{2} = \frac{\tau}{4R_H}$$

$$L_n = \frac{4R_H \tau}{\pi^2 (2n)^2}$$

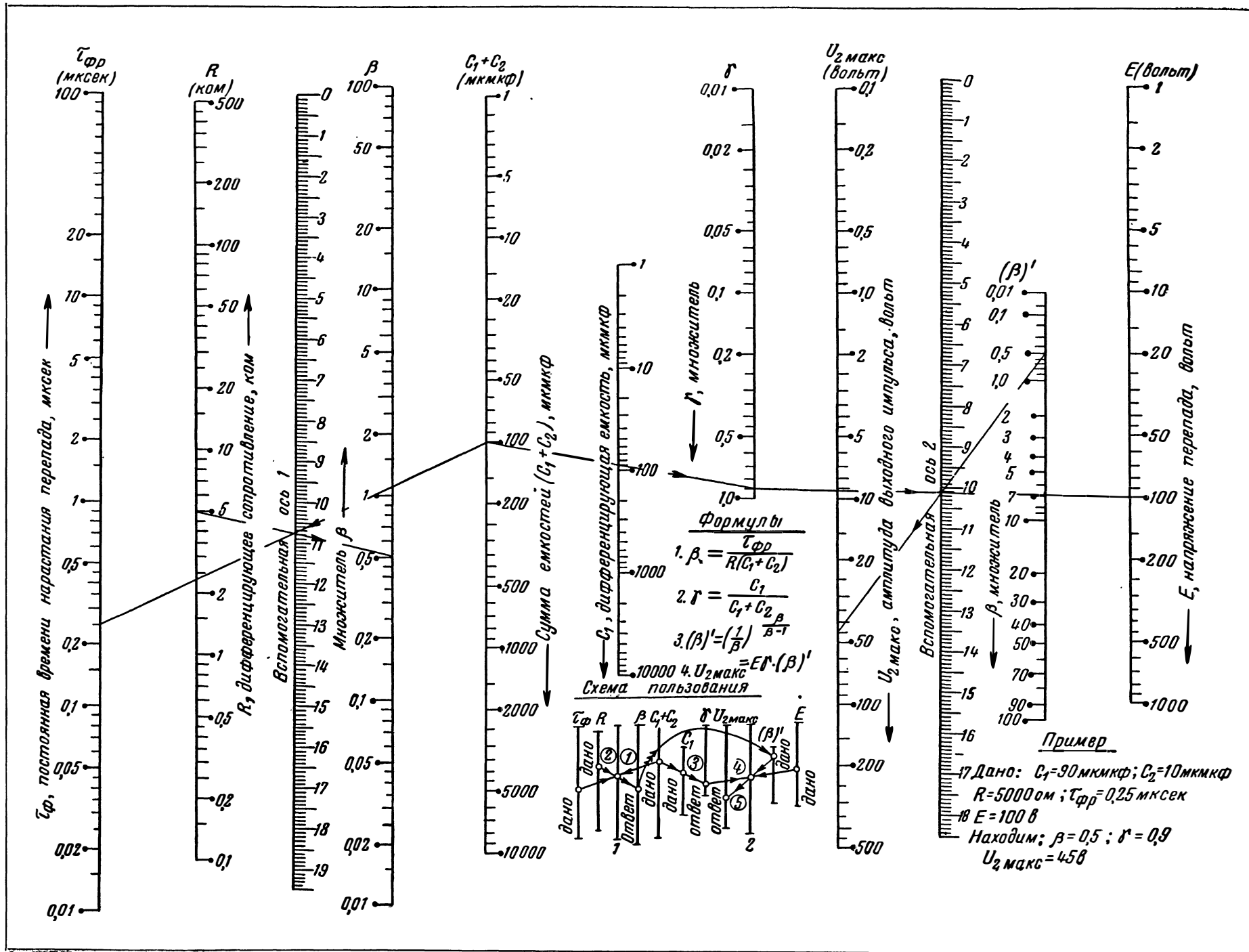
n , порядковый номер ячейки

Пример

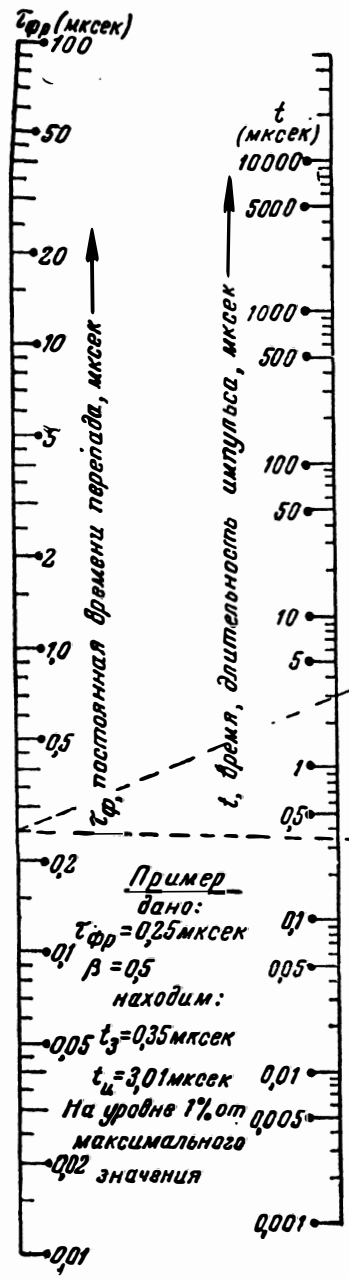
дано:
 $\tau = 1 \text{ мксек}$
 $R_H = 1000 \text{ ом}$
 находим:
 $C = 25 \text{ мккф}$
 $C_0 = 50 \text{ мккф}$
 $L_1 = 100 \text{ мкгн}$
 $L_2 = 253 \text{ мкгн}$
 $L_3 = 11 \text{ мкгн}$
 $L_4 = 4,1 \text{ мкгн}$



Номограмма № 39. Формирующая цепь, составленная из последовательно соединенных противорезонансных контуров.



Номограмма № 40. Амплитуда дифференцированного импульса.



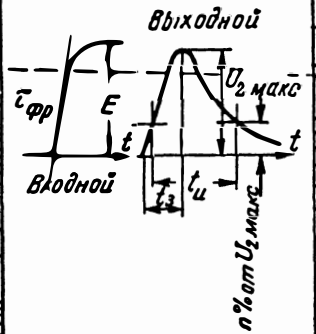
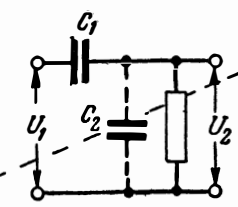
Формулы

$$t_3 = \tau_{фр} \cdot T_{макс}$$

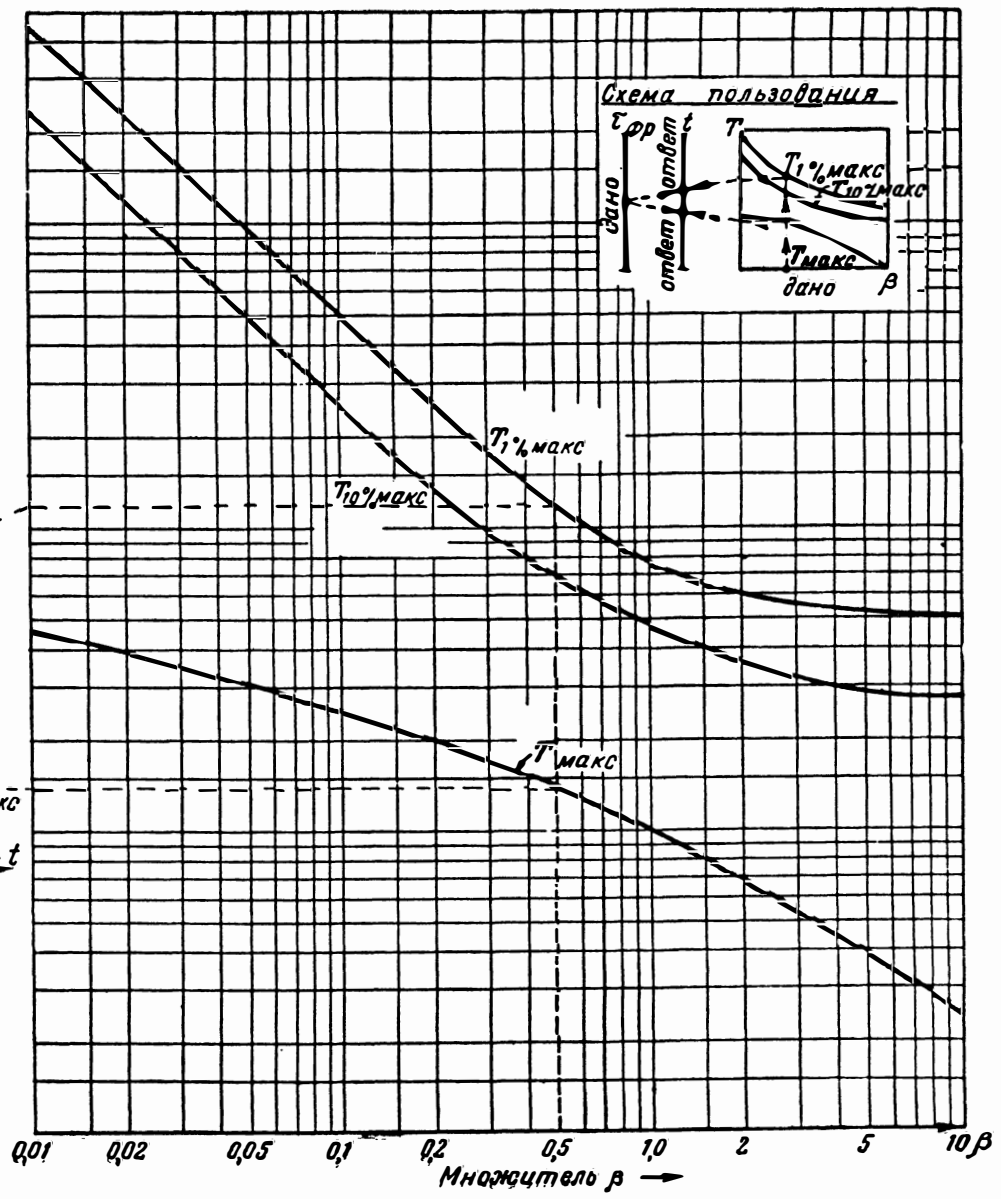
$$t_u = \tau_{фр} \cdot T_{п\% макс}$$

$$T_{макс} = \frac{\ln \beta}{\beta - 1}$$

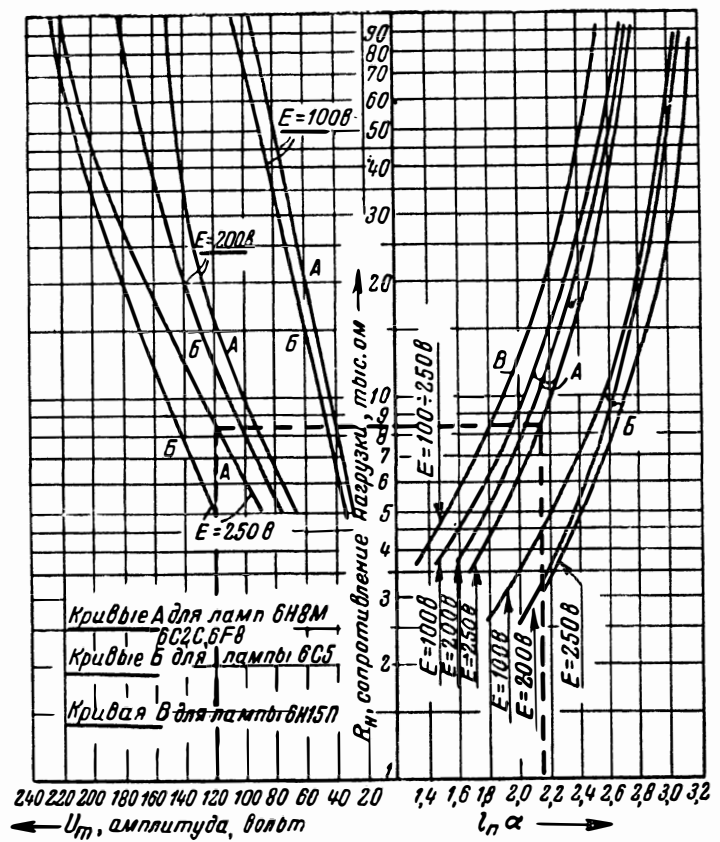
$$T_{п\% макс} = f(\beta)$$



Пример
 дано:
 $\tau_{фр} = 0,25$ мксек
 $\beta = 0,5$
 находим:
 $t_3 = 0,35$ мксек
 $t_u = 3,01$ мксек
 На уровне 1% от
 максимального
 значения



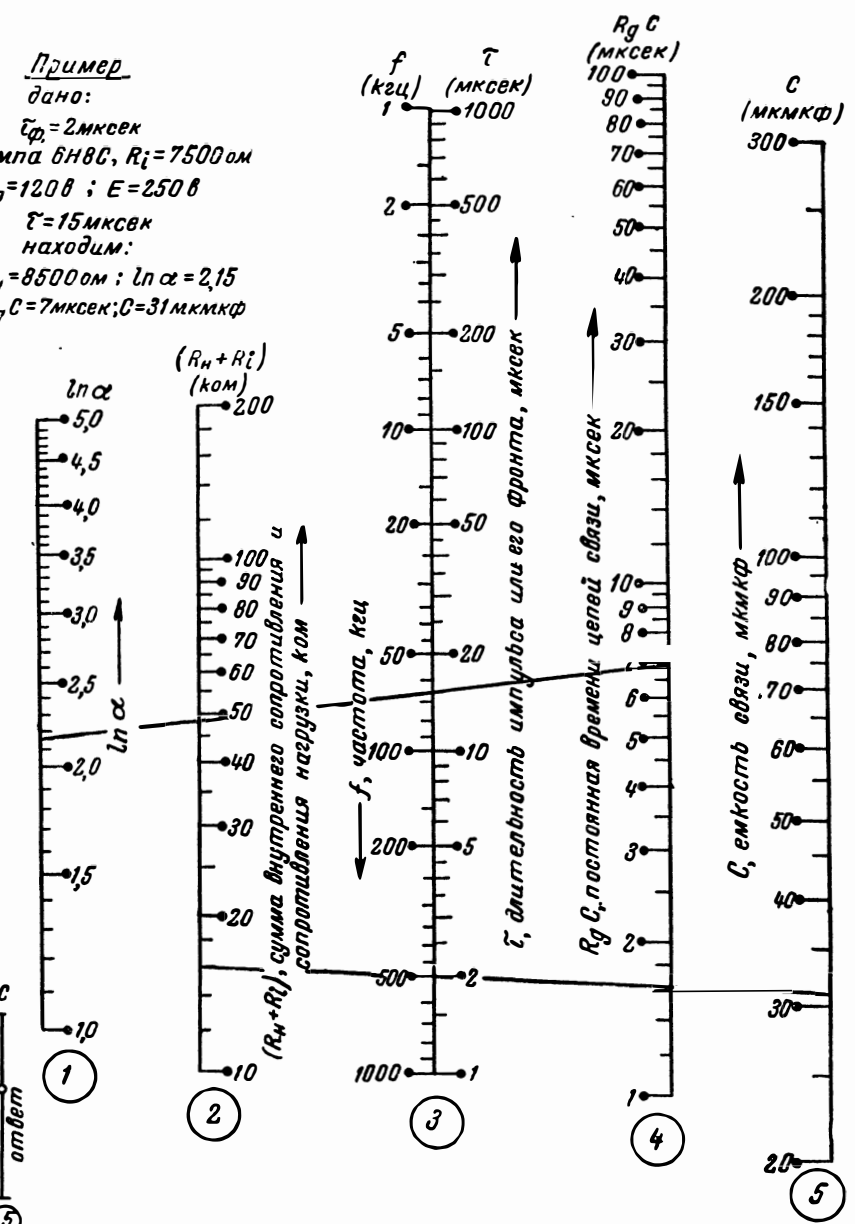
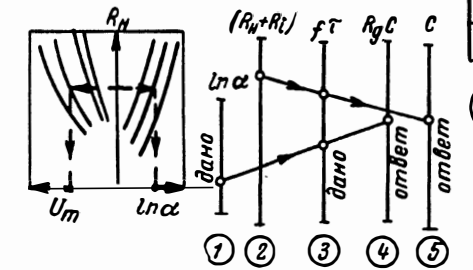
Номерама № 41. Длительность дифференцированного импульса,



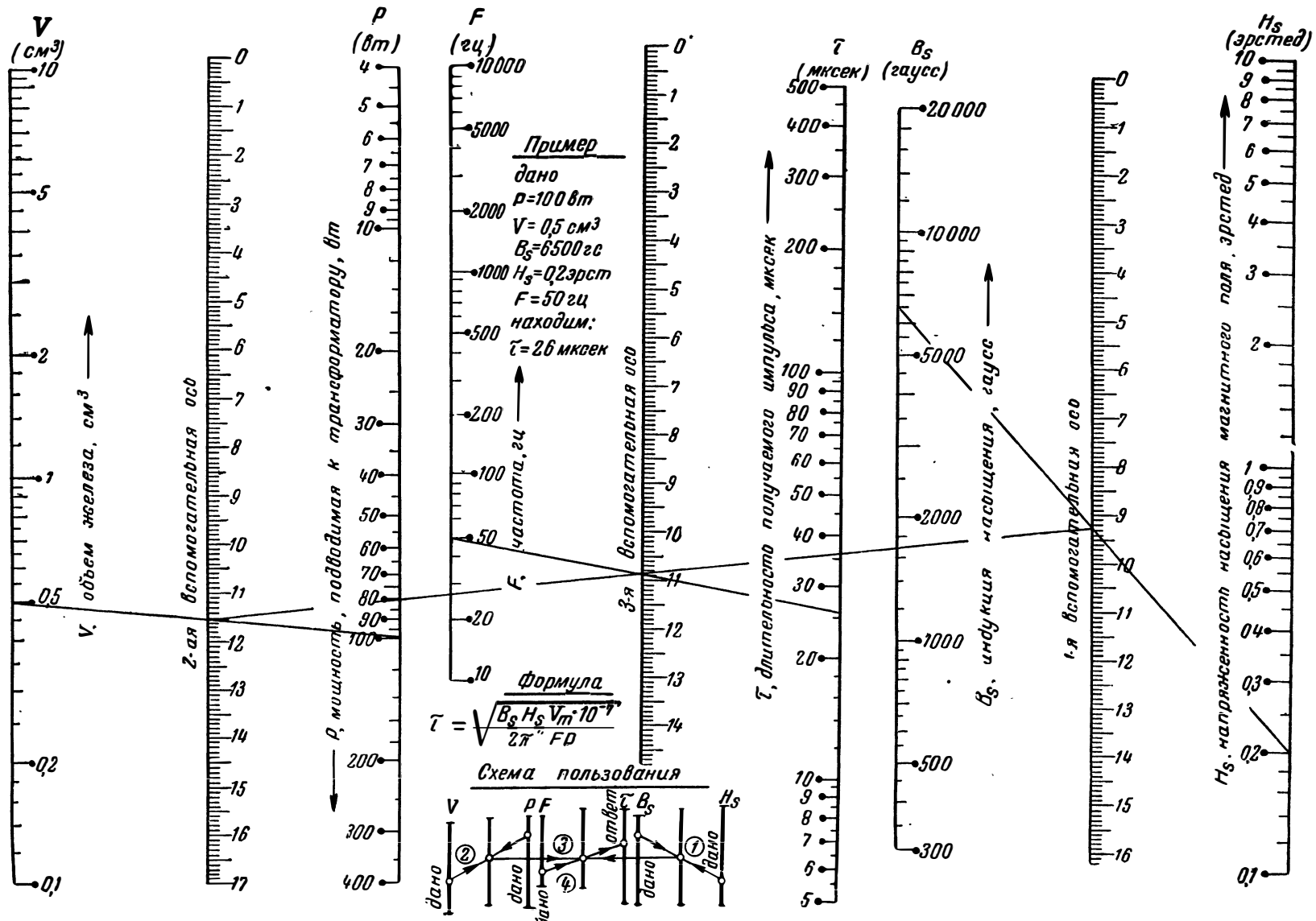
Пример
 дано:
 $\tau_{\phi} = 2 \text{ мксек}$
 Лампа 6Н8С, $R_i = 7500 \text{ ом}$
 $U_m = 120 \text{ в}$; $E = 250 \text{ в}$
 $\tau = 15 \text{ мксек}$
 находим:
 $R_H = 8500 \text{ ом}$; $\ln \alpha = 2,15$
 $R_g C = 7 \text{ мксек}$; $C = 31 \text{ мкмкф}$

- Формулы**
- $\tau = (\ln \alpha) \cdot R_g C$
 - $\tau_{\phi} = 4(R_H + R_i) C$
 - $U_m = \varphi(R_H, E)$
 - $\ln \frac{U_m}{E_{90}} = \varphi(R_H, E)$

Схема пользования



Номограмма № 42. Мульти vibrator с самовозбуждением.



Номограмма № 43. Расчет пик-трансформатора,

Формулы:

$$1) \tau_B = \frac{\mu_{\Delta} d^2}{10\rho}$$

$$2) \frac{\Delta B_{\max}}{\Delta B_{\text{ср}}} \approx 1 + \frac{\tau_B}{\tau}$$

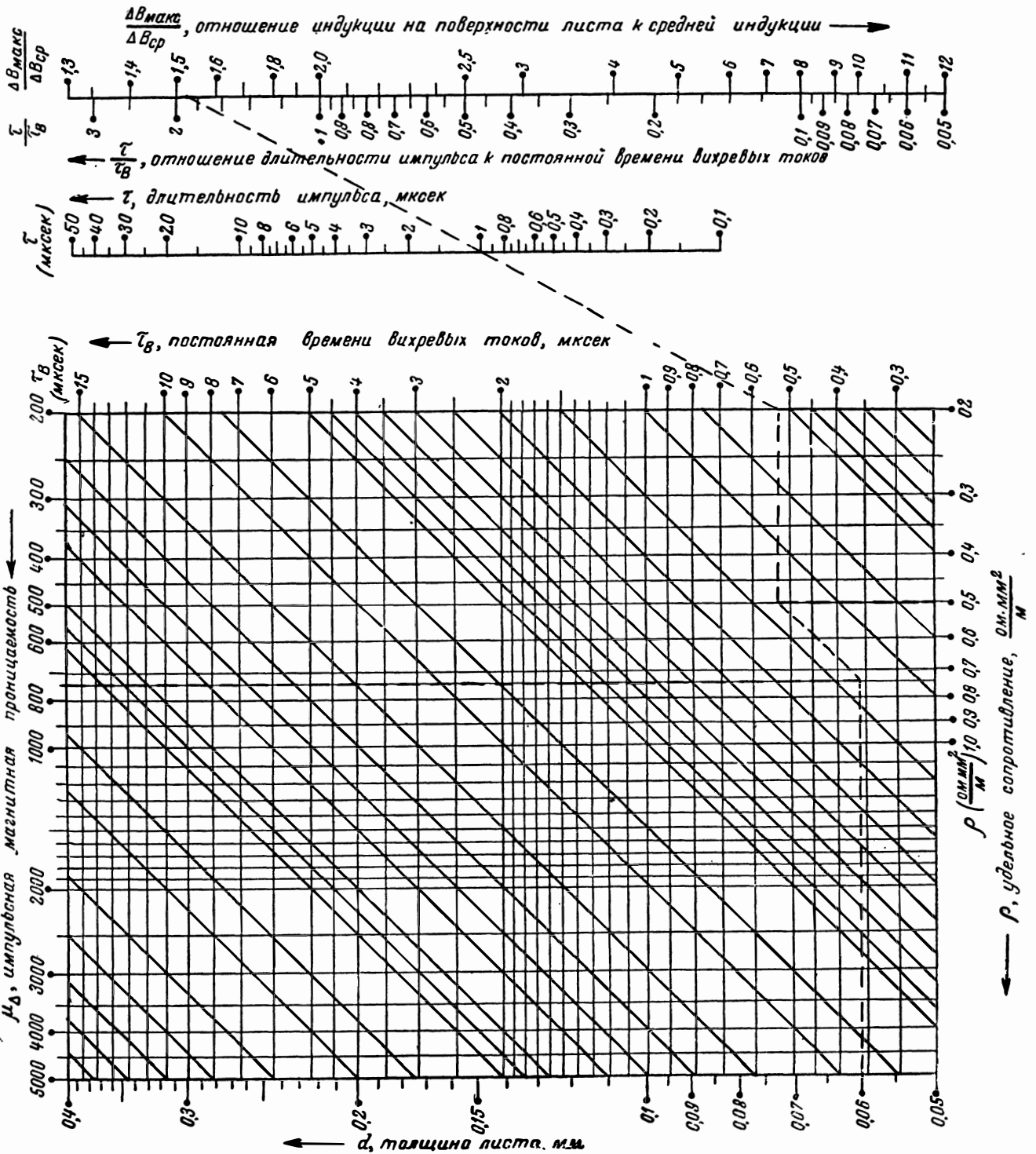
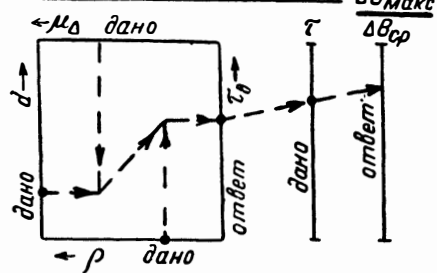
Пример
дано: $d=0,06 \text{ мм}; \rho=0,5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$\mu_{\Delta}=740; \tau=1 \text{ мксек}$

ответ: $\tau_B=0,53 \text{ мксек}$

$$\frac{\Delta B_{\max}}{\Delta B_{\text{ср}}}=1,53$$

Схема пользования



Номограмма № 44. Вихревая постоянная времени сердечника импульсного трансформатора.

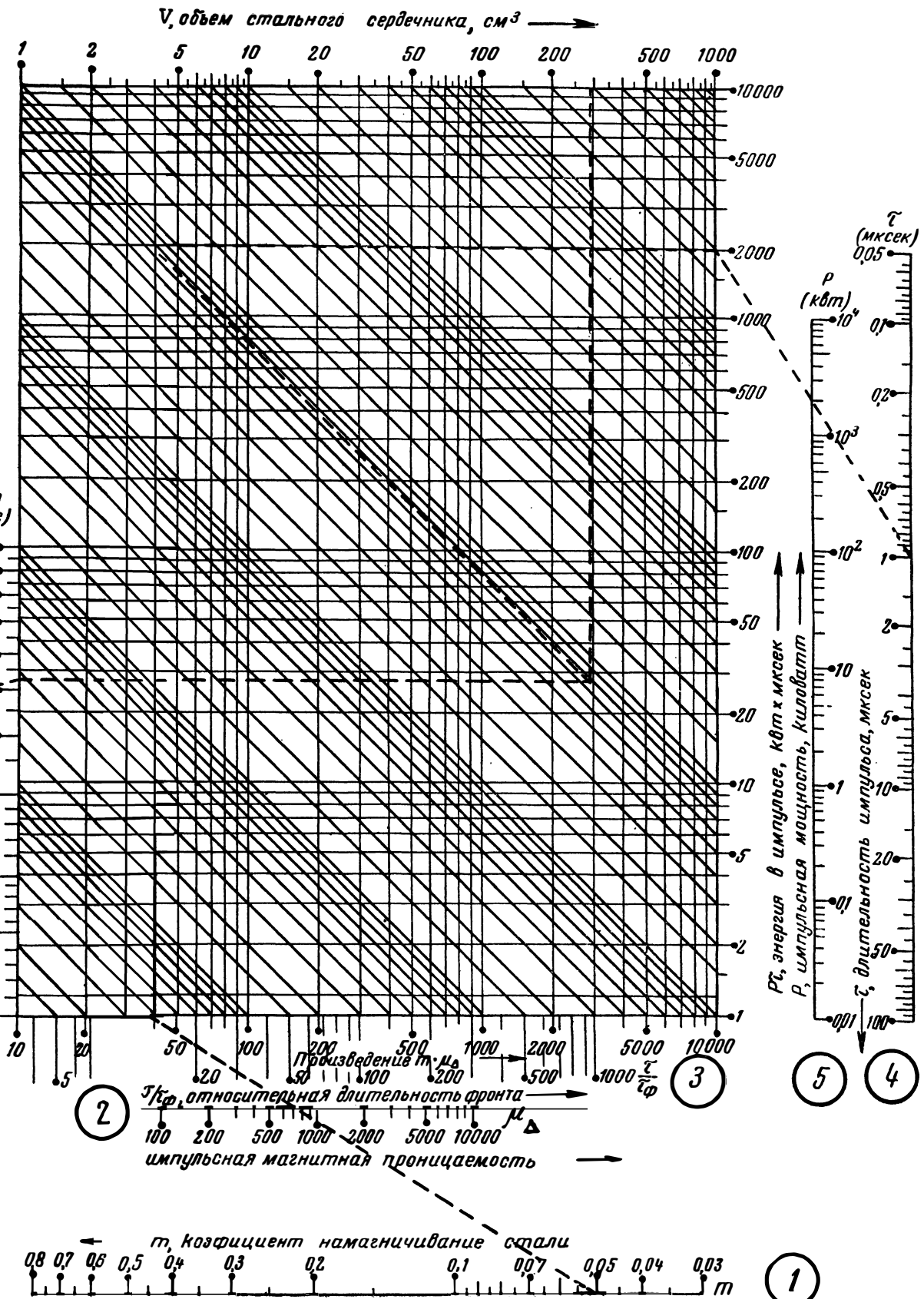
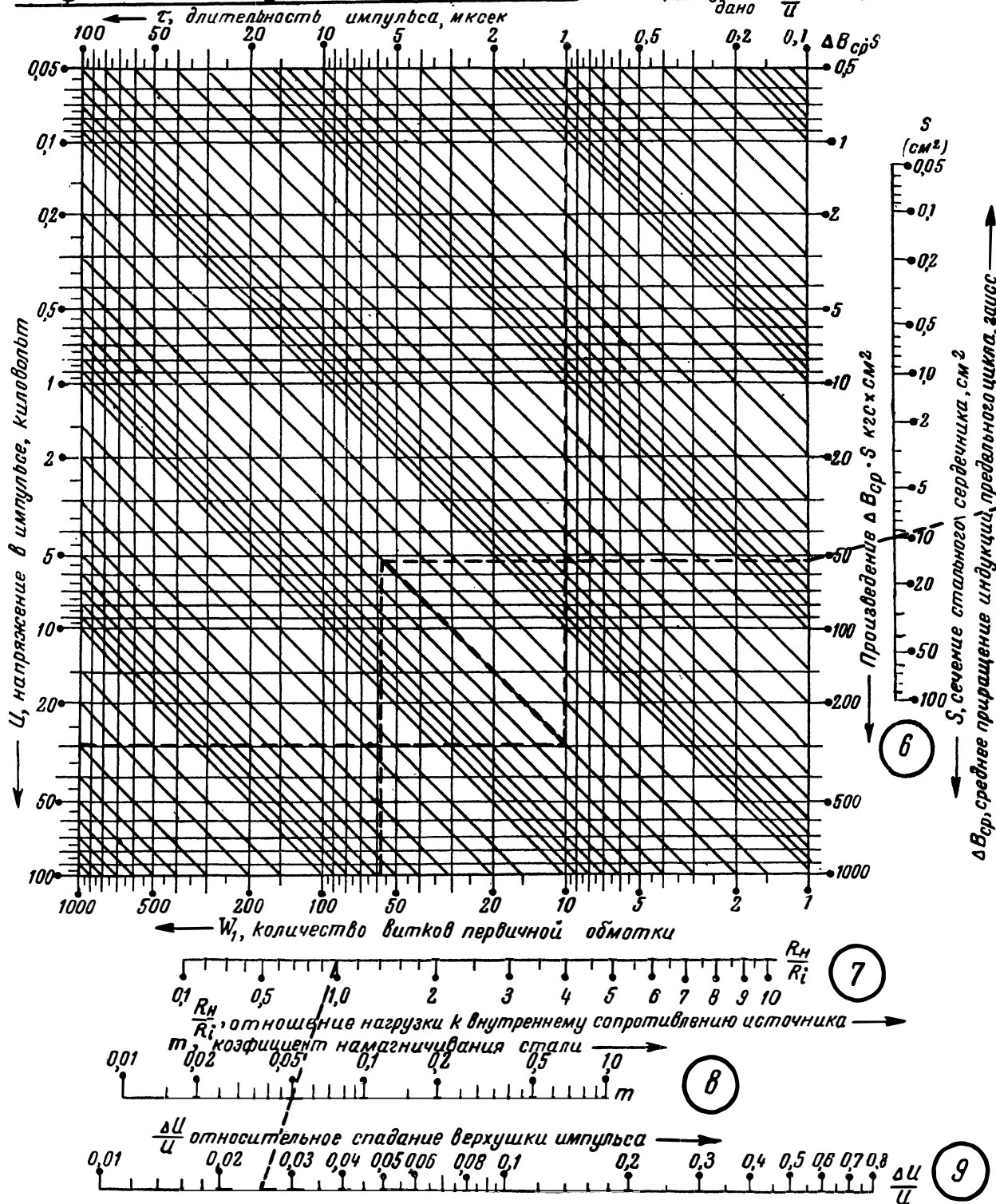
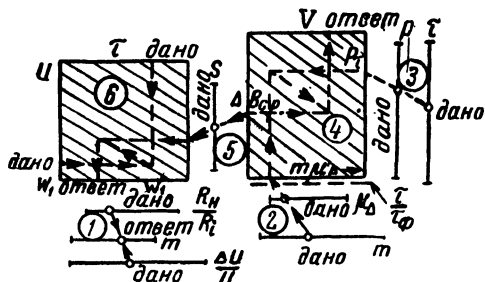
Формулы

Пример:

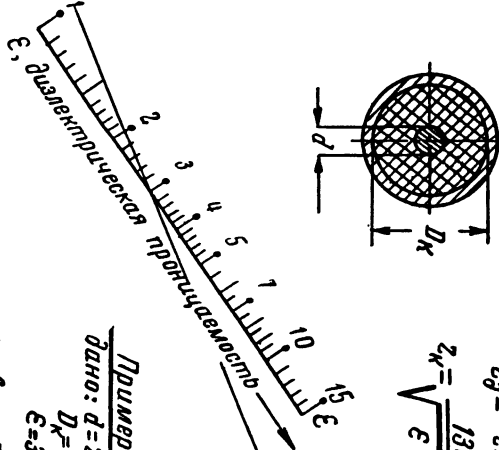
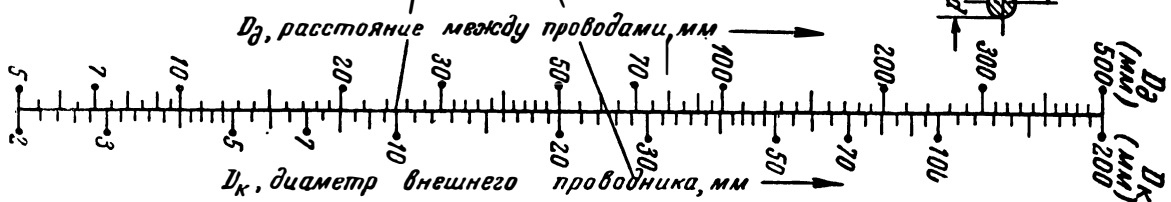
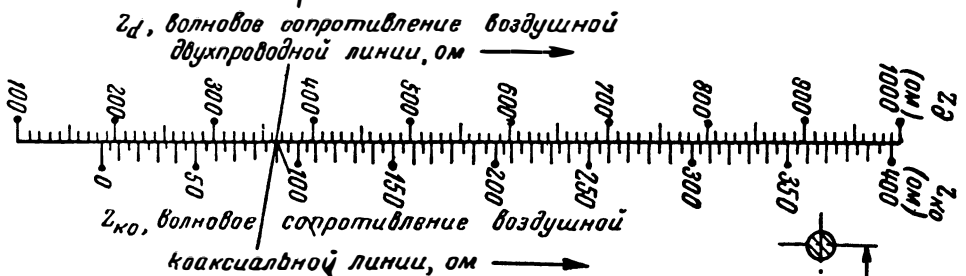
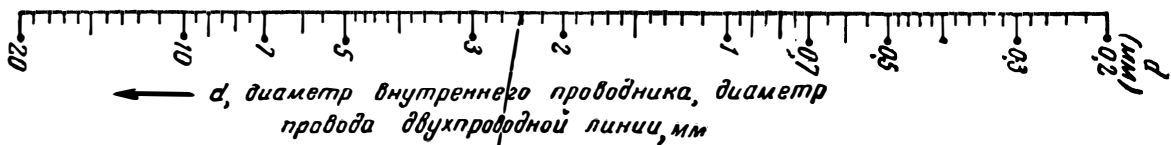
1. $V = \frac{R \tau \mu \Delta}{10 \Delta B_{cp}^2}$
2. $W_1 = \frac{100 \cdot U \cdot \tau}{S \Delta B_{cp}}$
3. $m \leq \frac{\Delta U}{U} \left(1 + \frac{R_H}{R_i}\right)$
4. $\frac{\tau}{\tau_{\phi}} = \frac{m \mu \Delta}{3}$

дано:
 $R = 2000 \text{ кВт}$; $\tau = 1 \text{ мксек}$; $U = 30 \text{ кВ}$
 $\Delta B_{cp} = 5,2 \text{ кгс}$; $\mu \Delta = 740$
 $\rho = 0,5 \frac{\text{ОМ} \cdot \text{мм}^2}{\text{М}}$; $d = 0,06$; $S = 10 \text{ см}^2$
 $\frac{\Delta U}{U} = 2,5\%$; $\frac{R_H}{R_i} = 1$; $n = 1$
 Находим:
 $V = 274 \text{ см}^3$; $W_1 = 58$; $m = 0,05$
 $\frac{\tau}{\tau_{\phi}} = 12 \text{ (т.е. } \tau_{\phi} = 0,081 \tau)$

Схема пользования



Нограмма № 45. Расчет импульсного трансформатора,

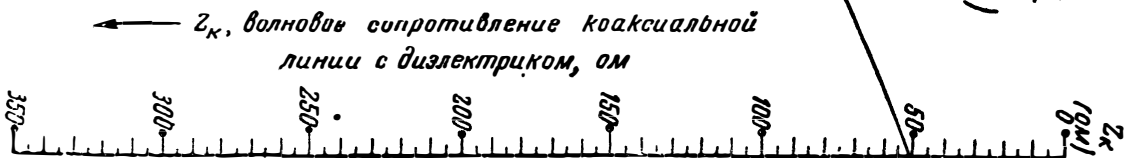
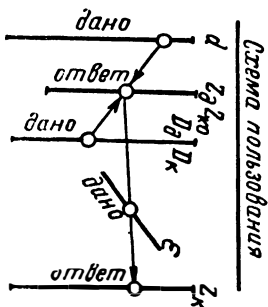


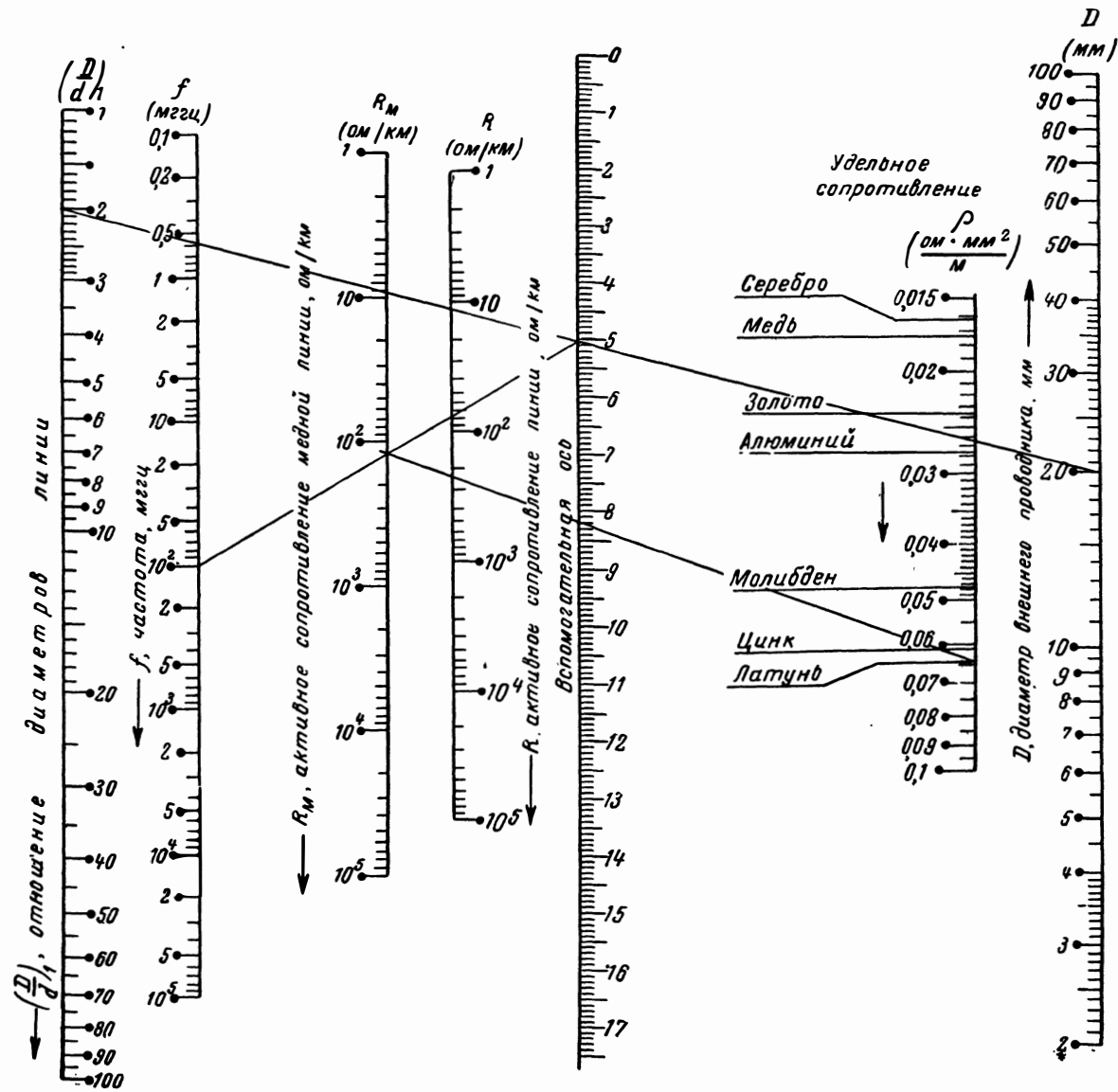
Формулы

$$Z_d = 276 \lg \left(\frac{2D_d}{d} \right)$$

$$Z_k = \sqrt{\frac{138}{\epsilon}} \lg \left(\frac{D_k}{d} \right)$$

Пример
 дано: $d = 2,45 \text{ мм}$
 $D_k = 10 \text{ мм}$
 $\epsilon = 3$
 ответ: $Z_{к0} = 90$
 $Z_k = 50 \text{ ом}$





Формулы

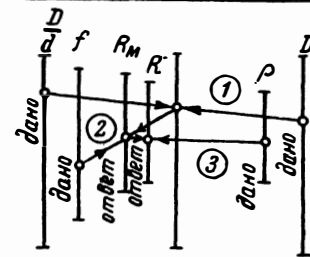
$$1) R_M = 33,2 \sqrt{f} \cdot \frac{1}{D} \left(\frac{D}{d} + 1 \right)$$

$$2) R = 7,65 R_M \sqrt{\rho}$$

Пример
 дано:
 $D = 20 \text{ мм}; d = 10 \text{ мм}$
 $\rho = 0,0637 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (латунь)
 $f = 100 \text{ мГц}$
 находим:

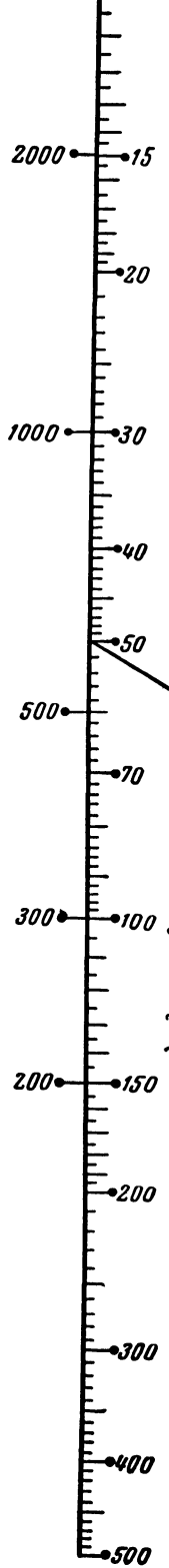
$R = 240 \text{ ом/км}$, в то время, как для меди $R_M = 125 \text{ ом/км}$

Схема пользования



Номограмма № 47. Активное сопротивление коаксиальной линии.

f (МГц) λ (см)

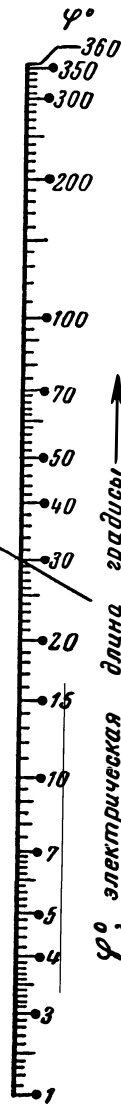
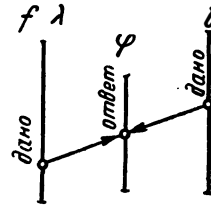


Формула

$$\varphi^\circ = \frac{360 l}{\lambda}$$

Пример
 дано $l = 4,17 \text{ см}$
 $\lambda = 50 \text{ см}$
 ответ: $\varphi = 30^\circ$

Схема пользования

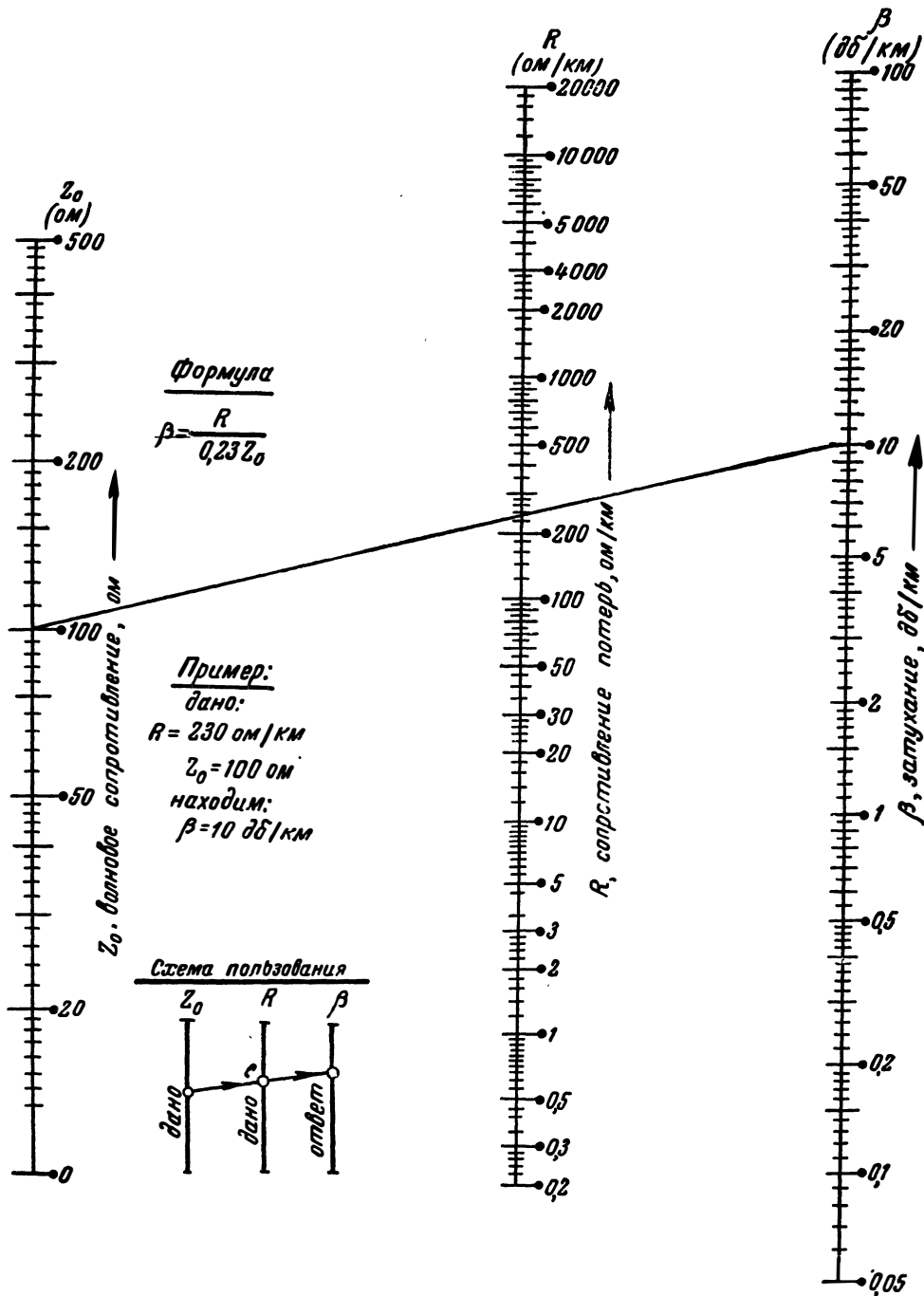


φ° , электрическая длина, градусы

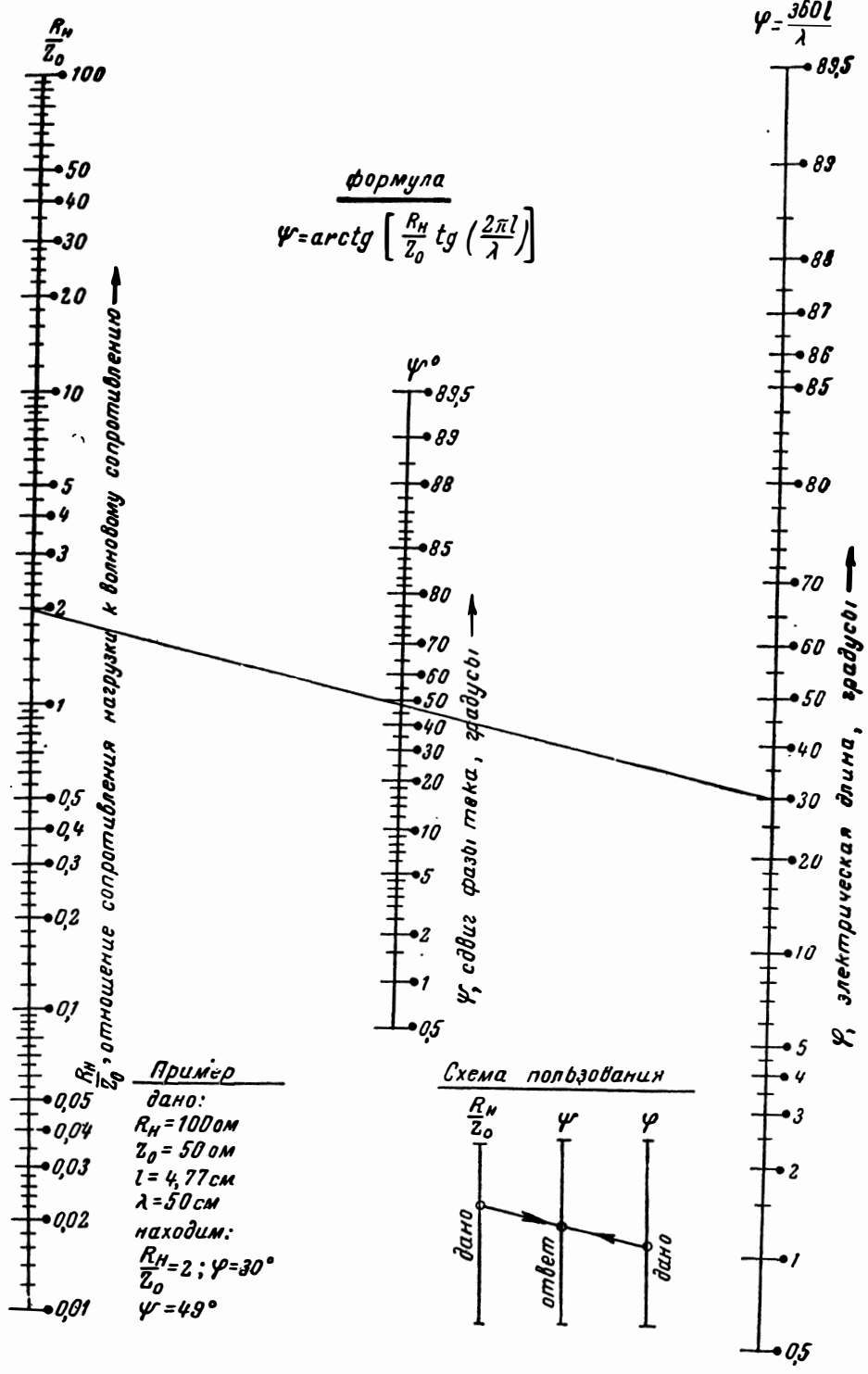
λ , длина волны, см

l , длина линии, см

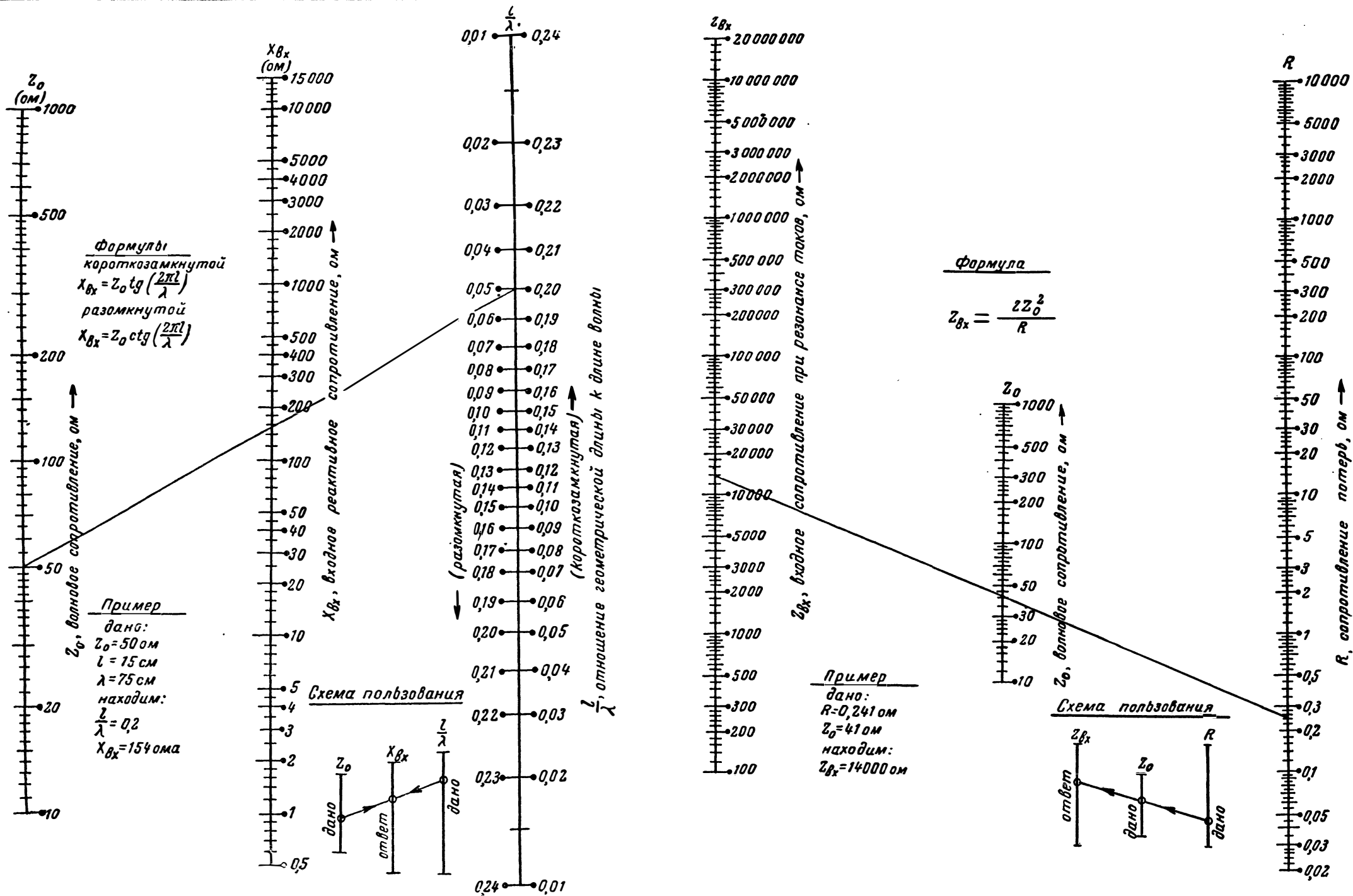
Номограмма № 48. Электрическая длина передающей линии.



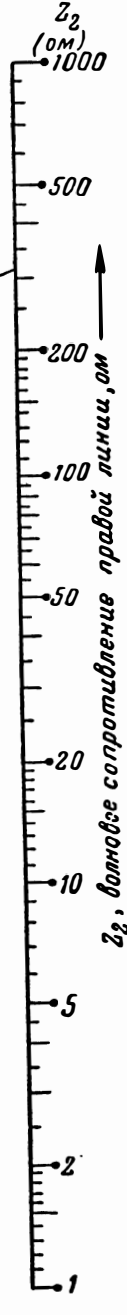
Номограмма № 49. Пересчет сопротивления потерь линии в затухание.



Номограмма № 50. Изменение фазы тока в линии.



Номограмма № 51. Сопротивление отрезка линии.



формула

$$Z_0 = \sqrt{Z_1 \cdot Z_2}$$

Пример

дано:
 $Z_2 = 320$ ом
 $Z_1 = 50$ ом
 находим:
 $Z_0 = 127$ ом

Z_1 , волновое сопротивление левой линии, ом

Z_0 , волновое сопротивление трансформатора, ом

Z_2 , волновое сопротивление правой линии, ом

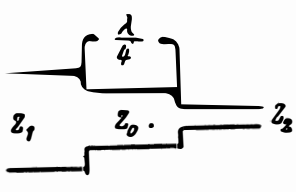
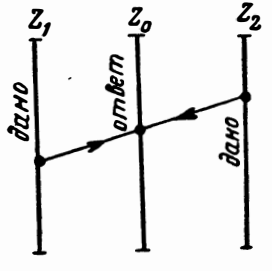
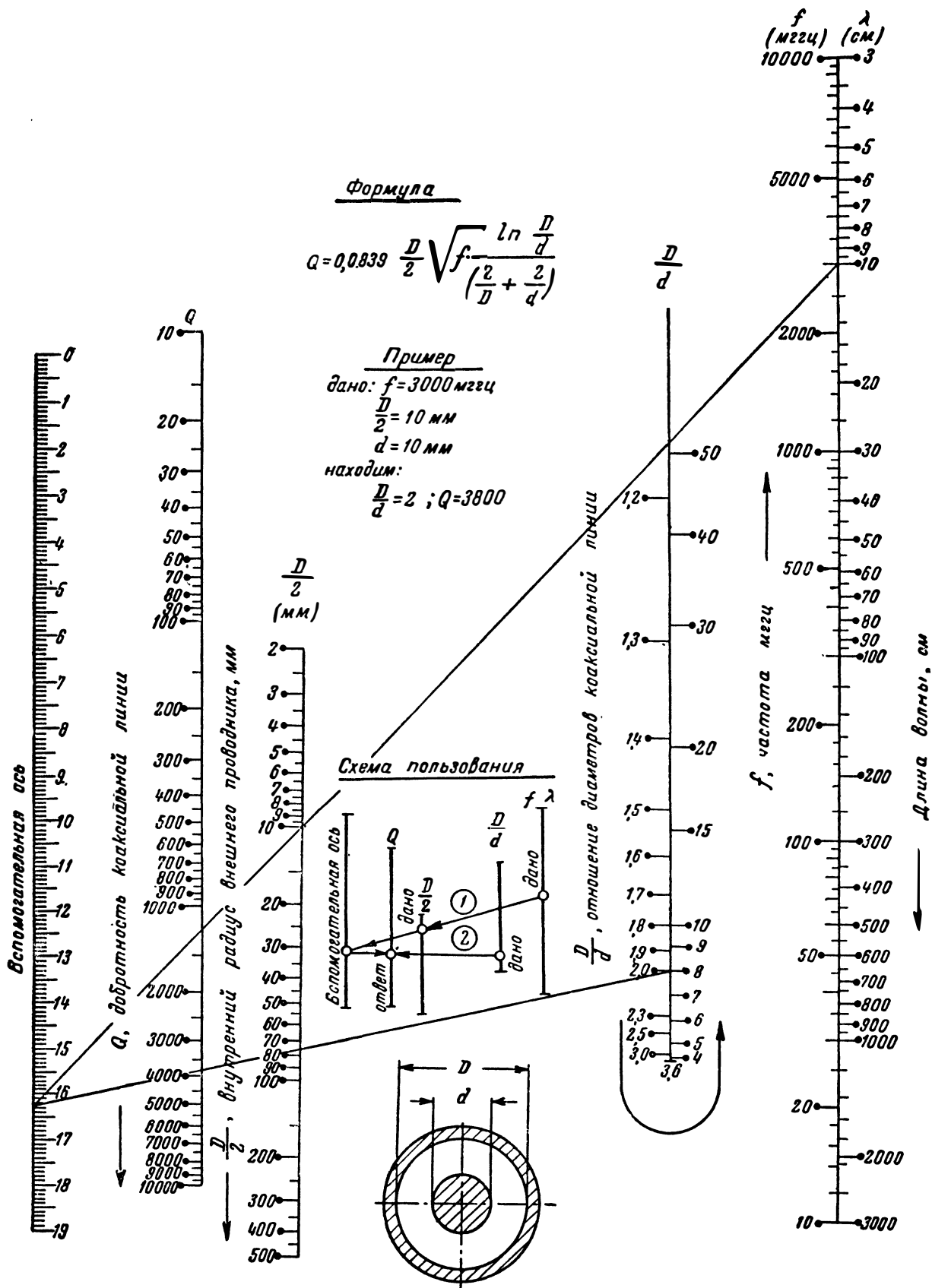


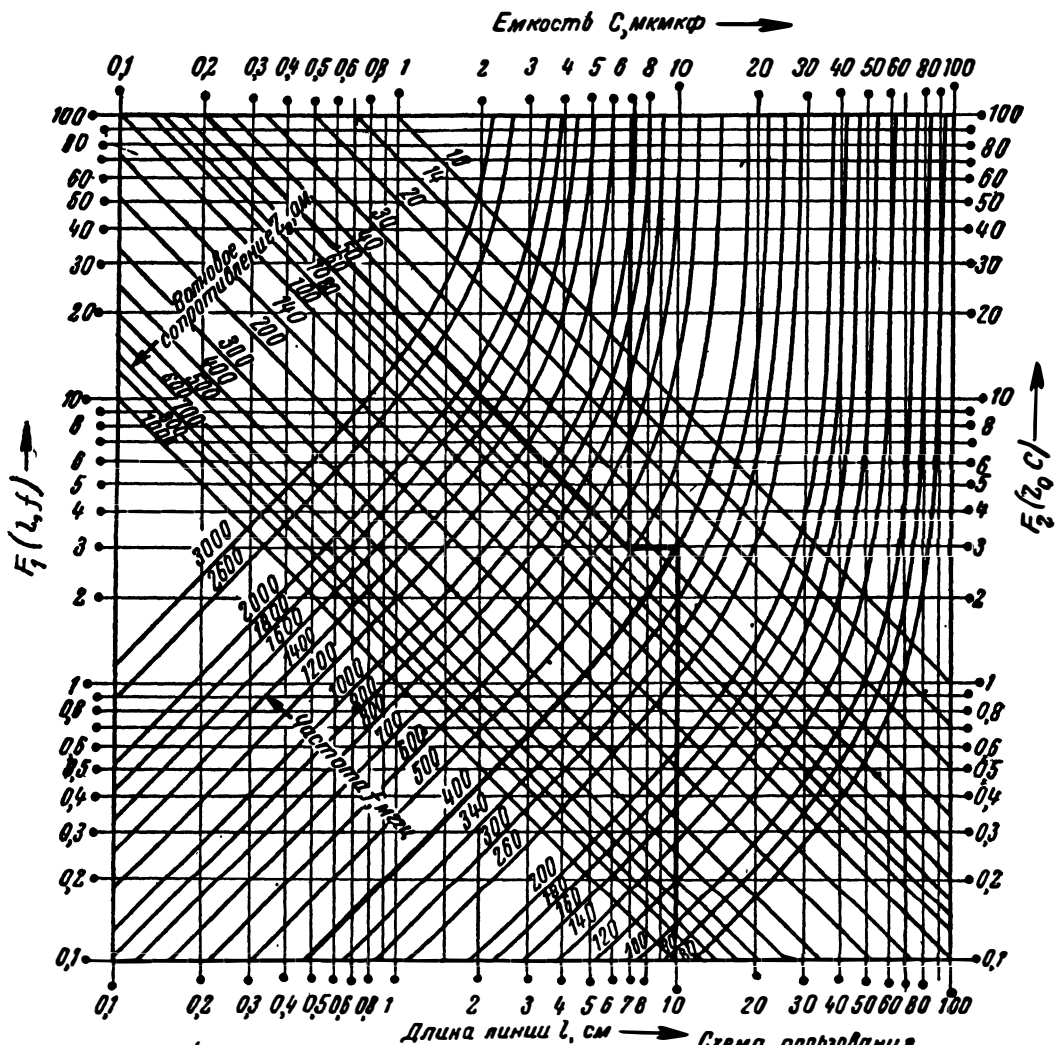
Схема пользования



Нограмма № 52. Четвертьволновый трансформатор.



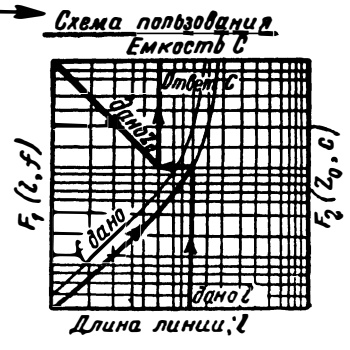
Нограмма № 53. Добротность коаксиальной линии.



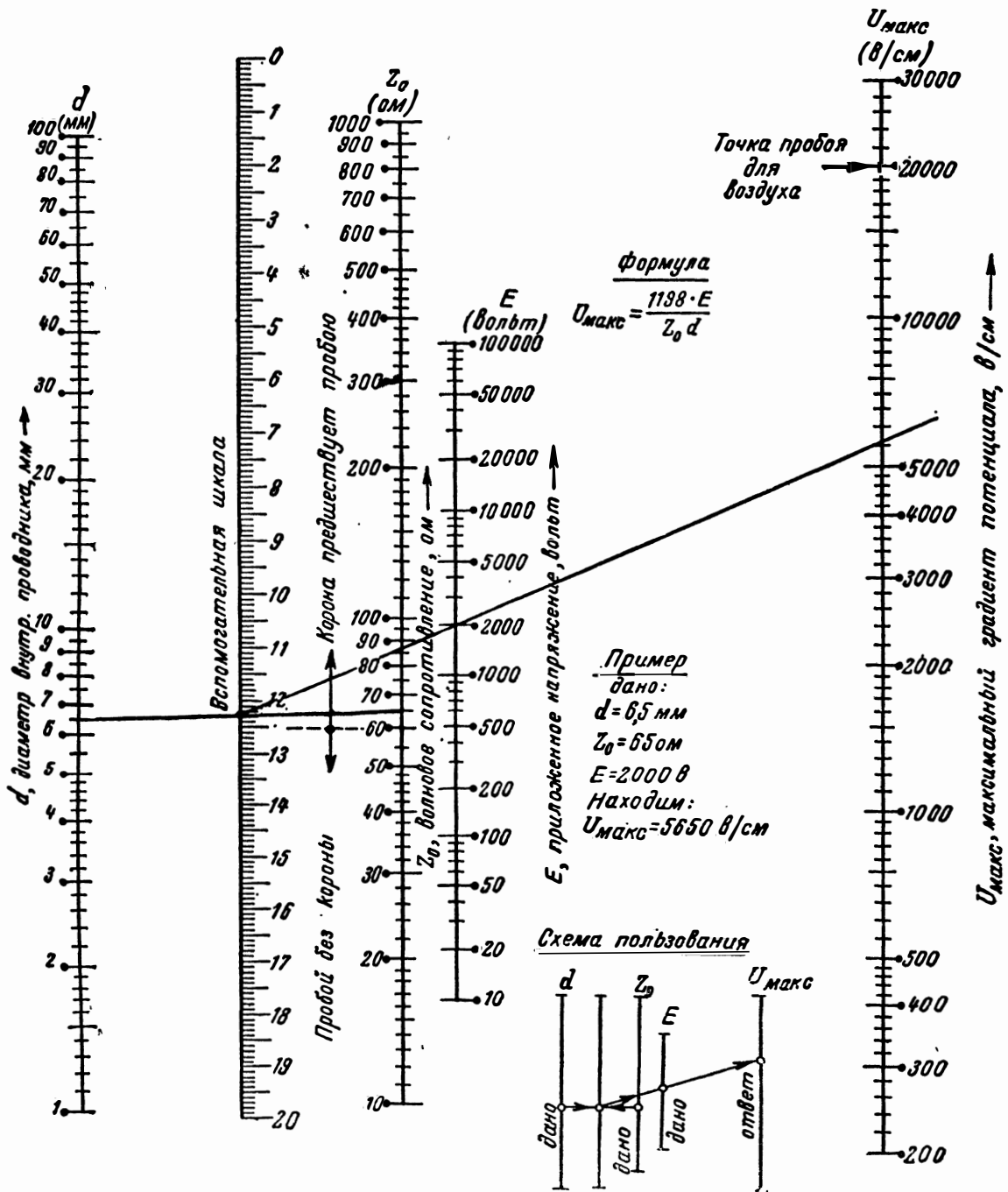
Формула

$$\frac{1}{2\pi f C} = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi f l}{c} \right) = Z_0 \operatorname{tg} \left(\frac{2\pi l}{\lambda} \right)$$

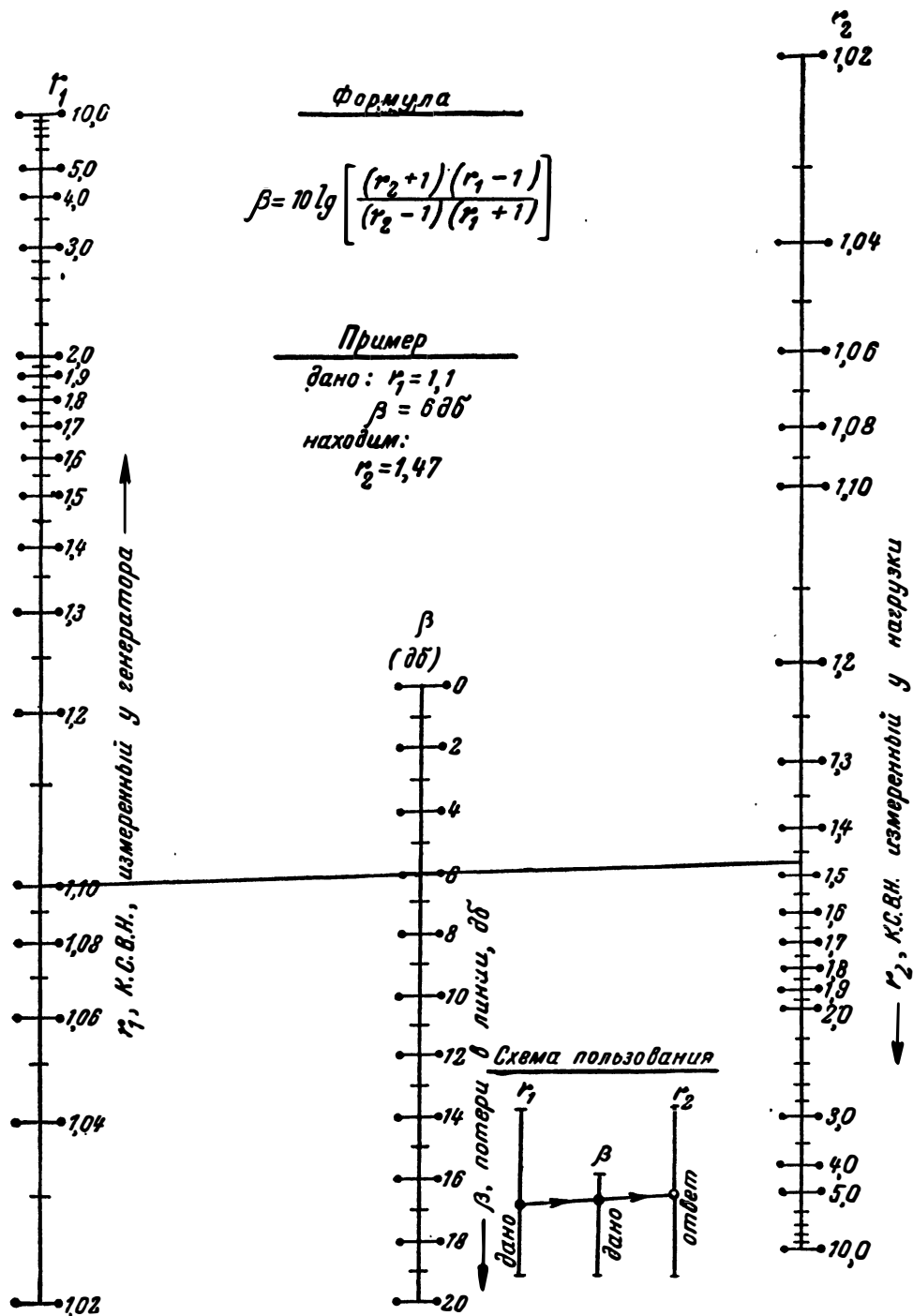
Пример
 дано: $l=10$ см ; $Z_0=50$ ом ; $f=400$ мггц
 находим: $C=7$ мкмкф



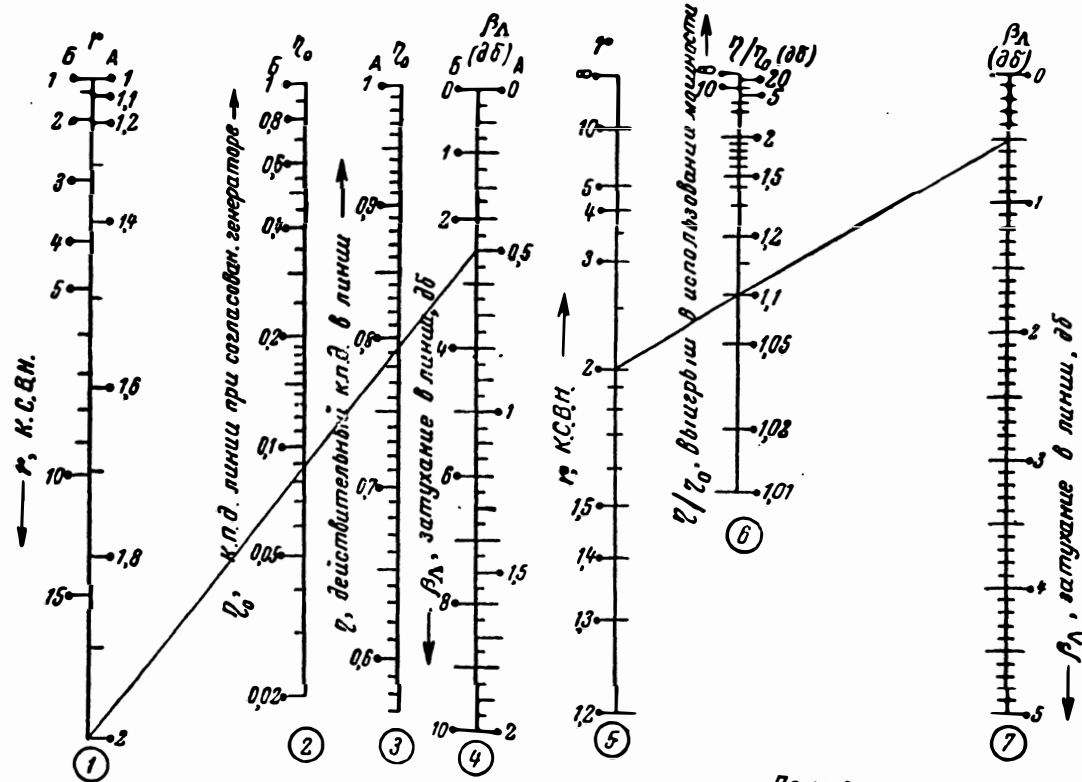
Номограмма № 54. Линия, нагруженная на емкость.



Номограмма № 55. Максимальный градиент потенциала в коаксиальной линии.



Номограмма № 56. Уменьшение к. с. в. н. в линии.



Формулы.

$$1) Z_0 = \frac{2 \operatorname{Sh} 2\beta_H}{e^{(2\beta_H + 2\beta_H)}} \quad 2) Z_D = \frac{\operatorname{Sh} 2\beta_H}{\operatorname{Sh}(2\beta_H + 2\beta_H)}$$

$$3) \frac{Z}{Z_0} = \frac{1}{1 - e^{-(4\beta_H + 4\beta_L)}}$$

где $\beta_H = \operatorname{arccoth} r$

Пример
 дано:
 $\beta_L = 0,5 \text{ дБ}$
 $r = 2$
 находим:
 $Z_0 = 79,3 \%$
 $Z/Z_0 = 1,1$
 $Z = 87,4 \%$

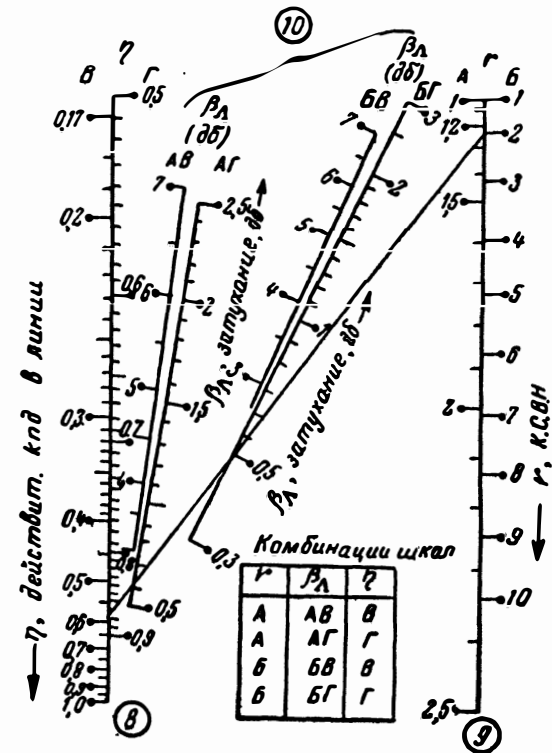
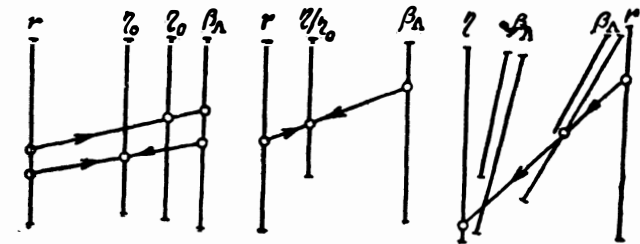
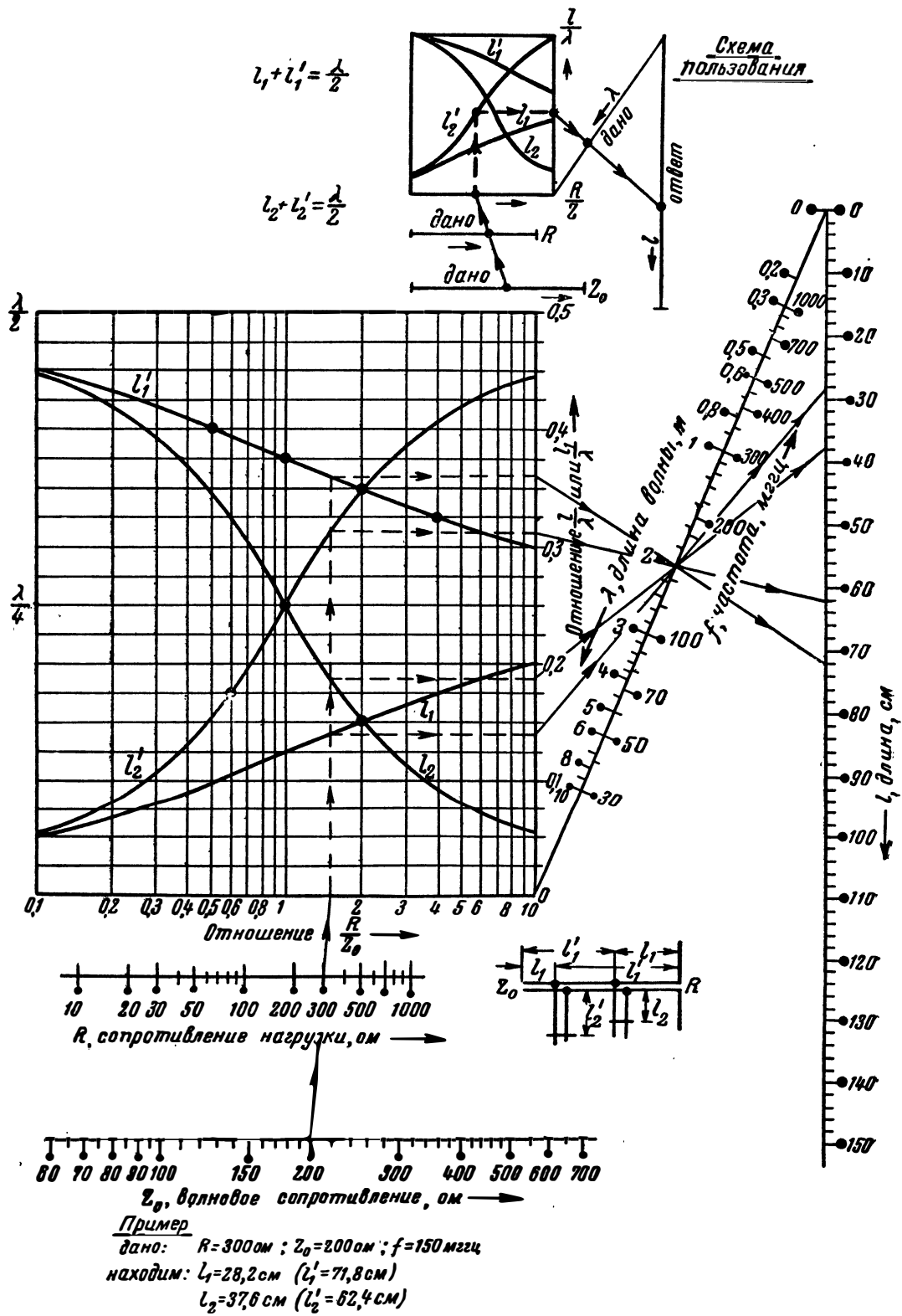
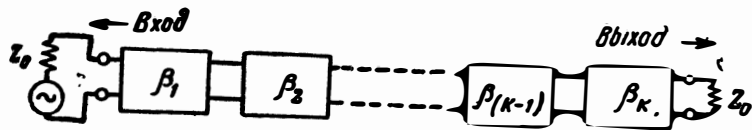


Схема пользования



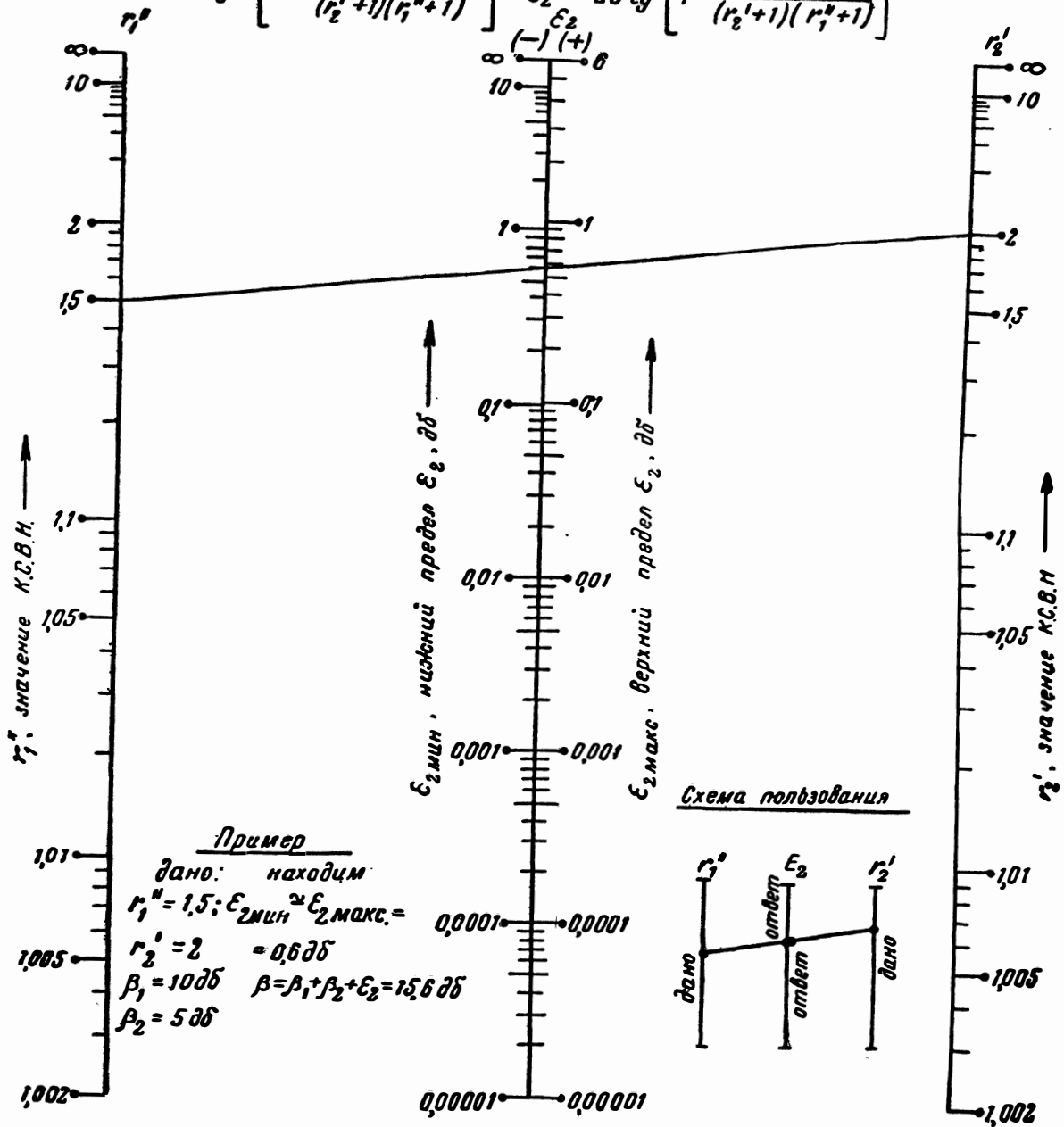


Номограмма № 58. Расчет шлейфов нагруженной линии.

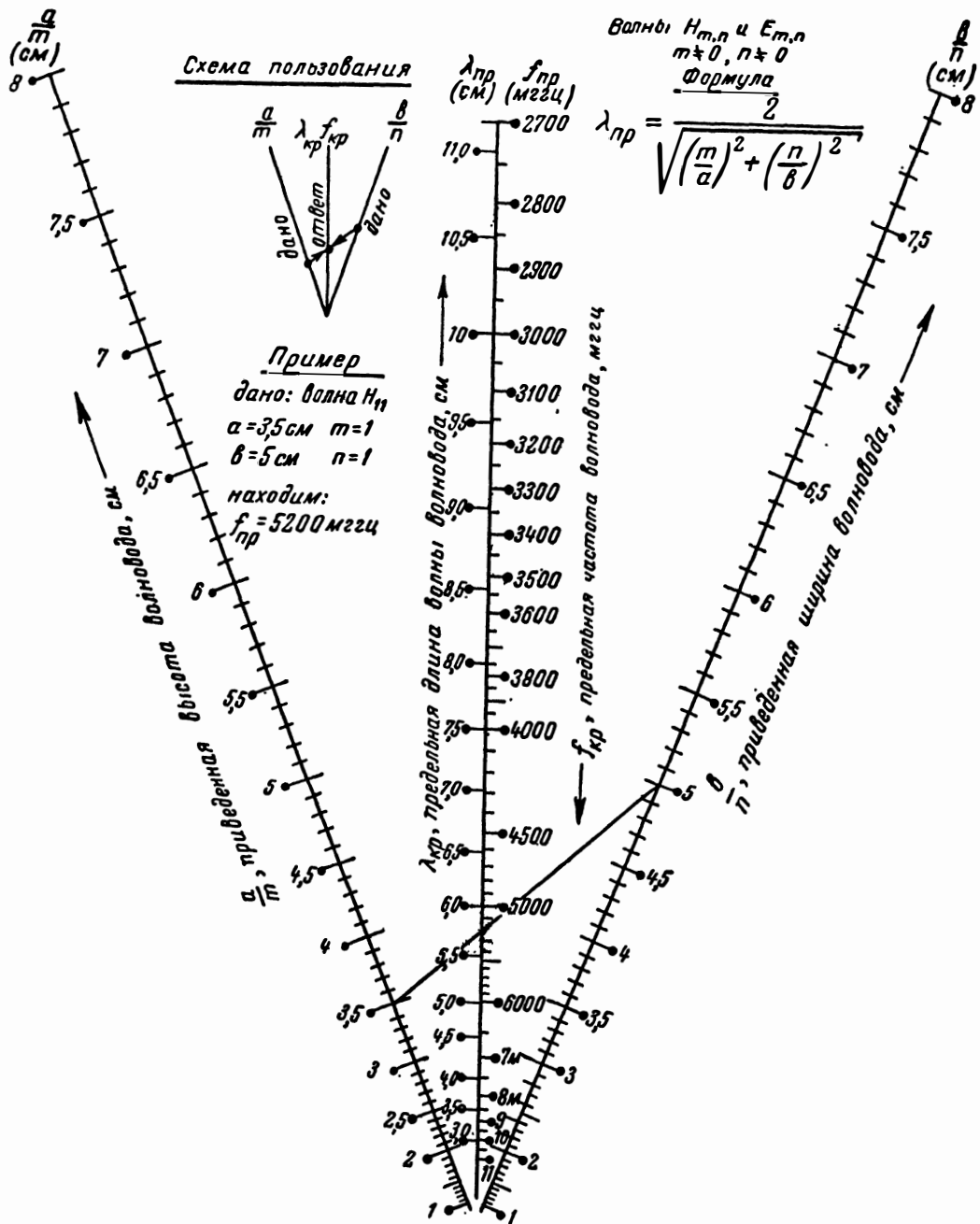


Формула

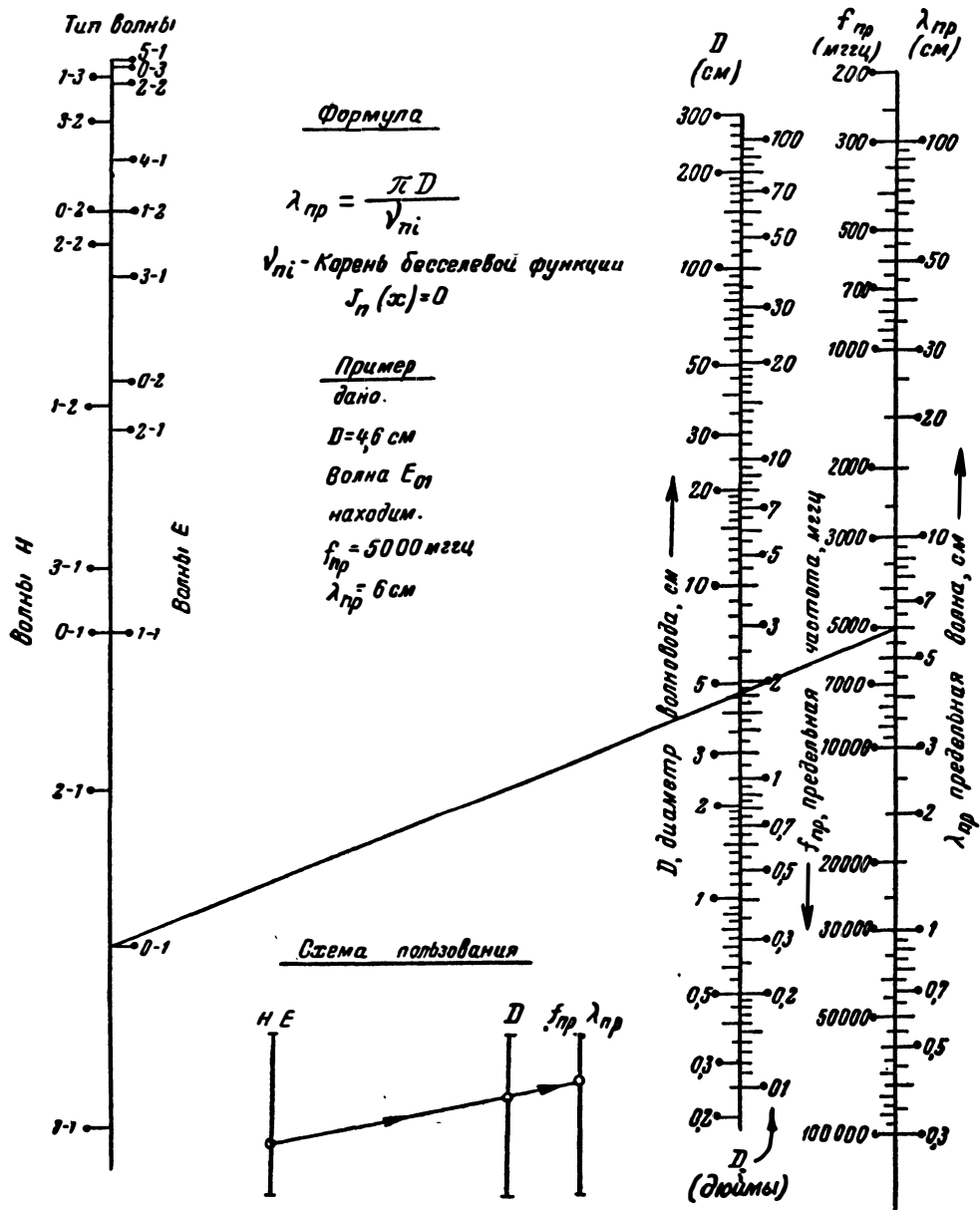
$$20 \lg \left[1 + \frac{(r_2^i - 1)(r_1^m - 1)}{(r_2^i + 1)(r_1^m + 1)} \right] > \epsilon_2 > 20 \lg \left[1 - \frac{(r_2^i - 1)(r_1^m - 1)}{(r_2^i + 1)(r_1^m + 1)} \right]$$



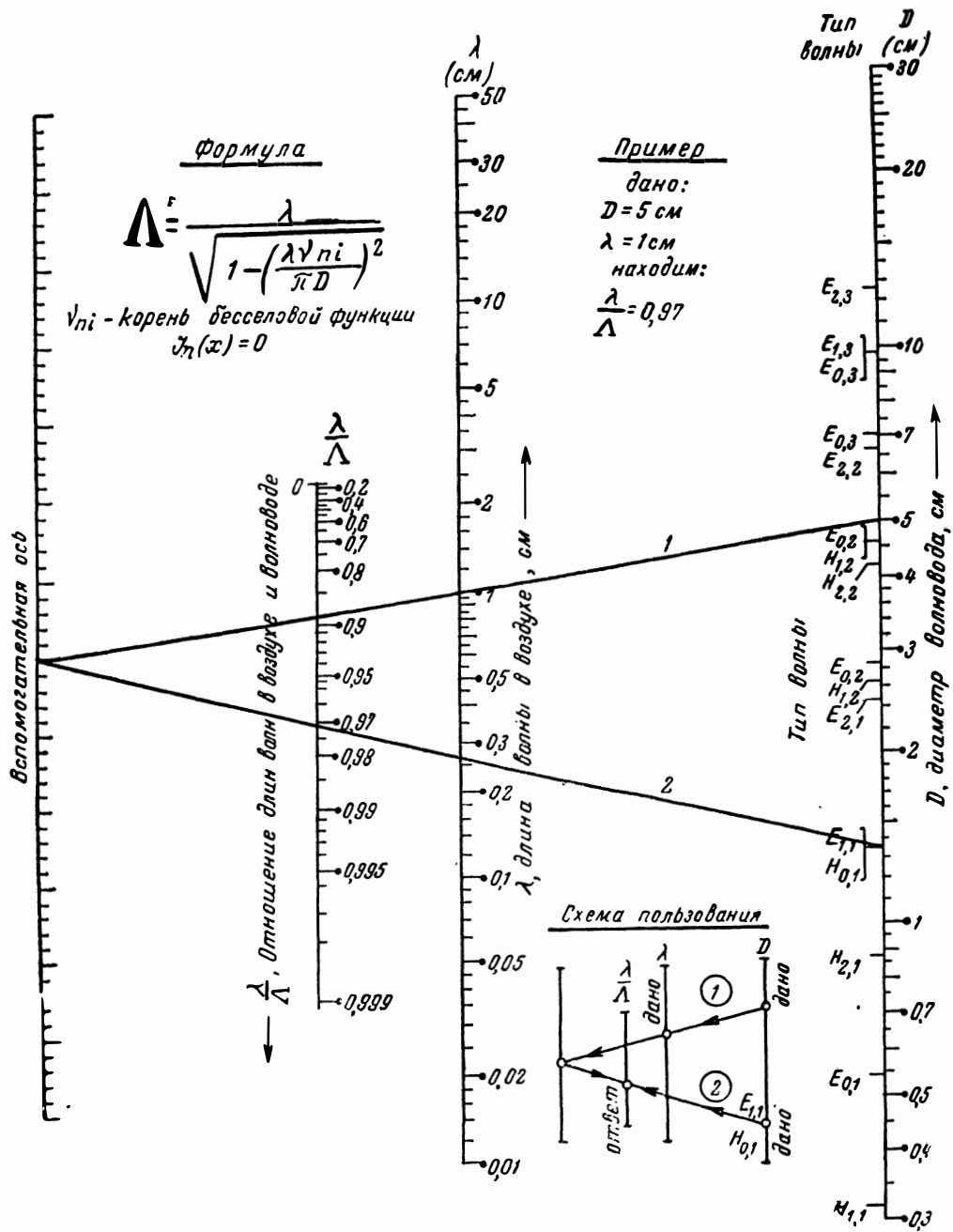
Номограмма № 59. Затухание последовательно соединенных ослабителей.



Номограмма № 60. Предельные волны типа $E_{m,n}$ и $H_{m,n}$ в прямоугольном волноводе.

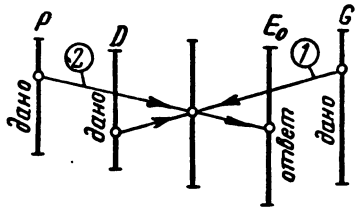


Номограмма № 61. Предельные частоты круглого волновода.



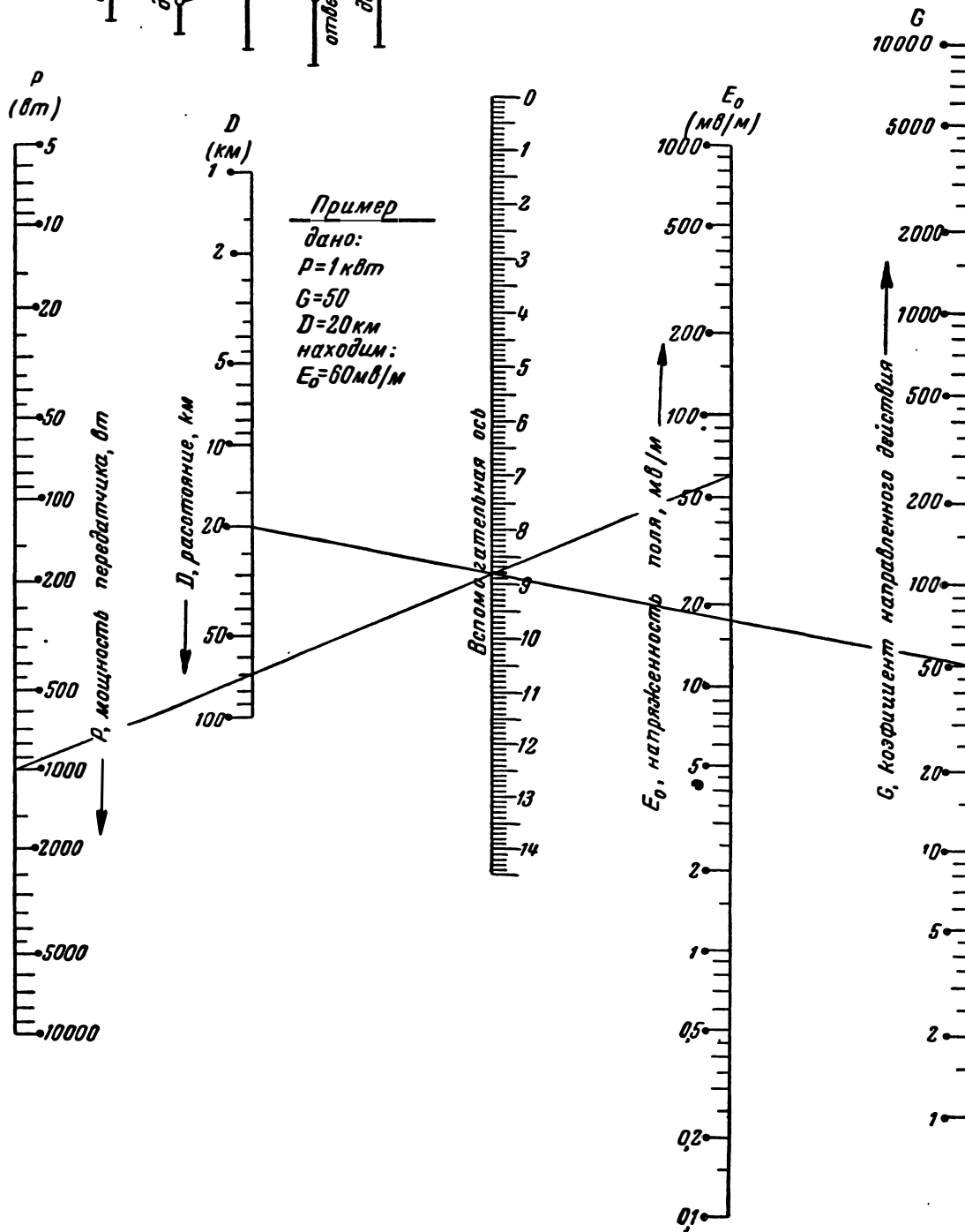
Номограмма № 62. Длина волны в круглом волноводе.

Схема пользования

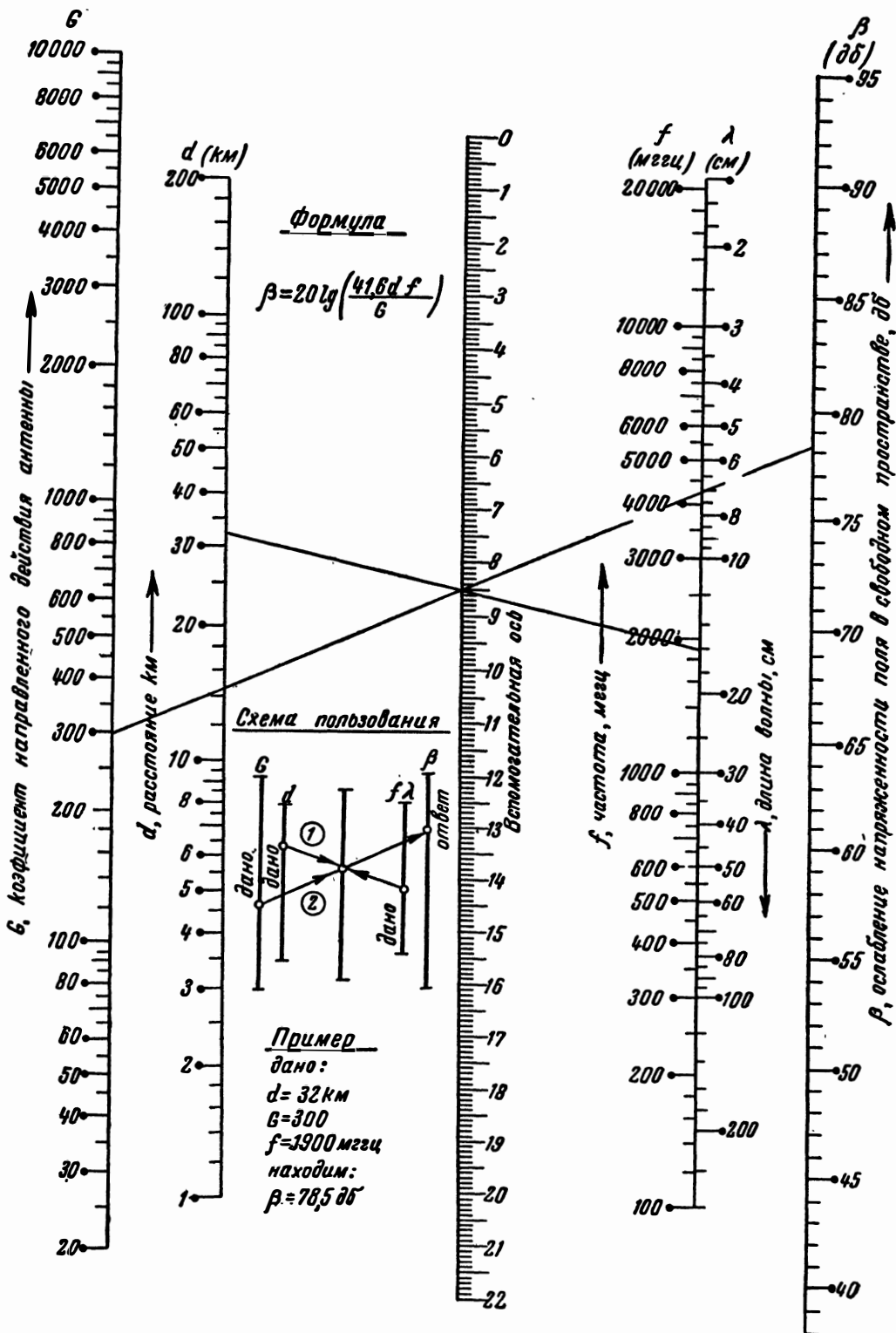


Формула

$$E_0 = \frac{\sqrt{30PG}}{D}$$



Номограмма № 4. Напряженность поля на расстоянии от передатчика.



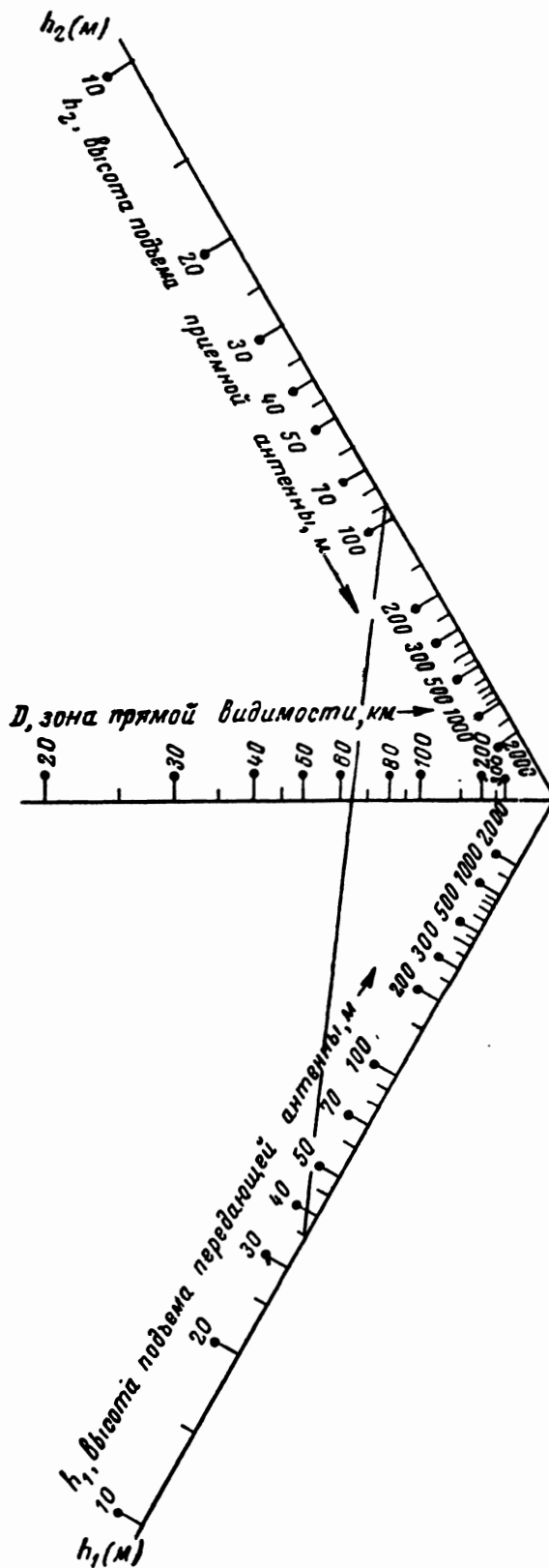
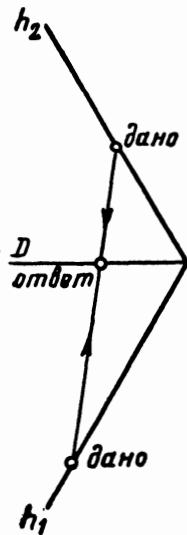
Номограмма № 65. Затухание ультракоротких волн.

Формула

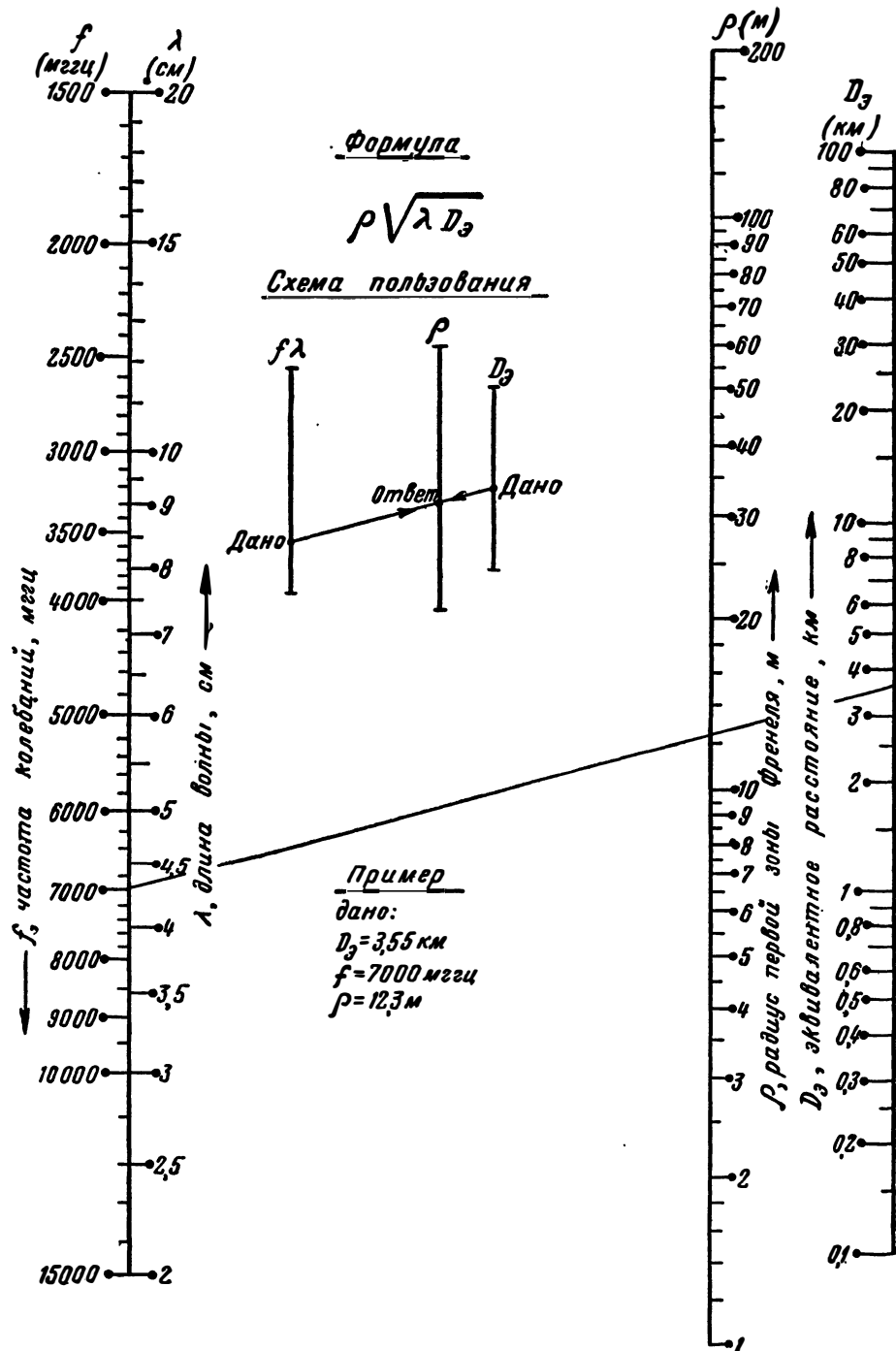
$$D(\text{км}) = 4,12 \left(\sqrt{h_{1(\text{м})}} + \sqrt{h_{2(\text{м})}} \right)$$

Пример
 дано:
 $h_1 = 35\text{м}$
 $h_2 = 90\text{м}$
 находим:
 $D = 63\text{км}$

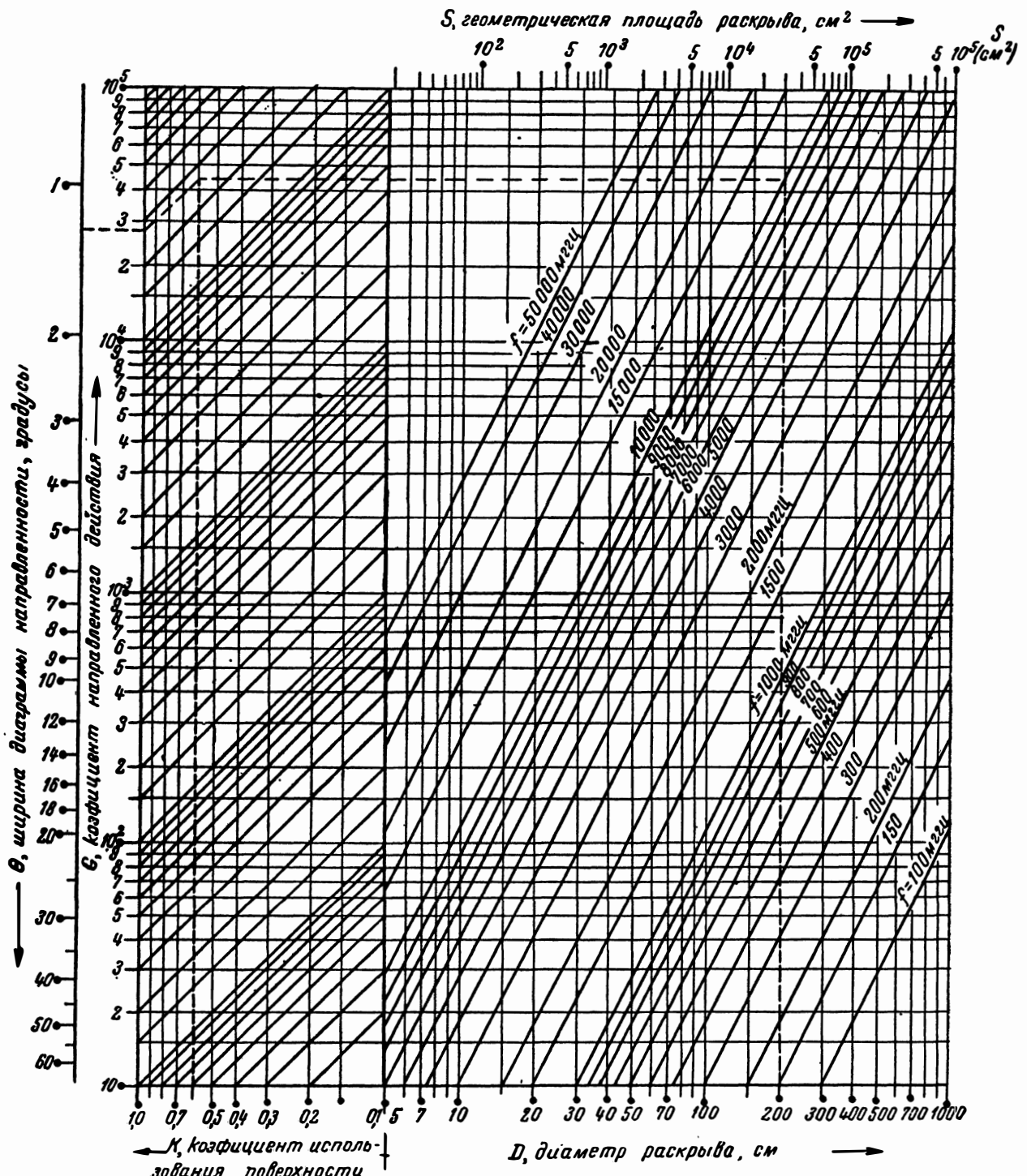
Схема пользования



Номограмма № 66. Величина зоны прямой видимости.



Номограмма № 67. Радиус первой дифракционной зоны.



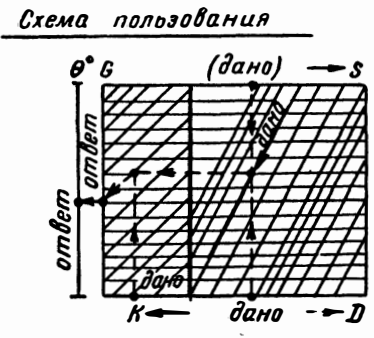
Формулы

$$G = \frac{4\pi K S}{\lambda^2} =$$

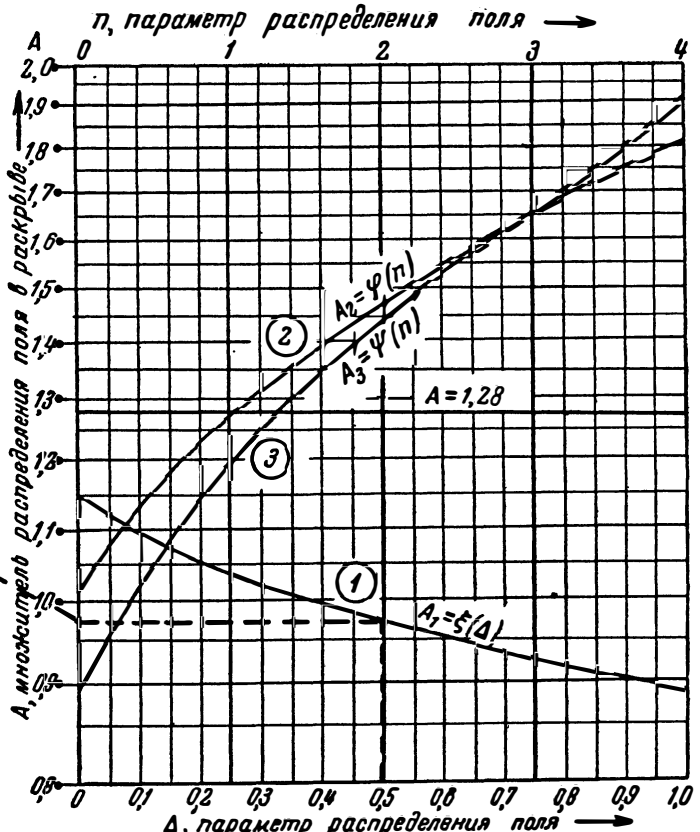
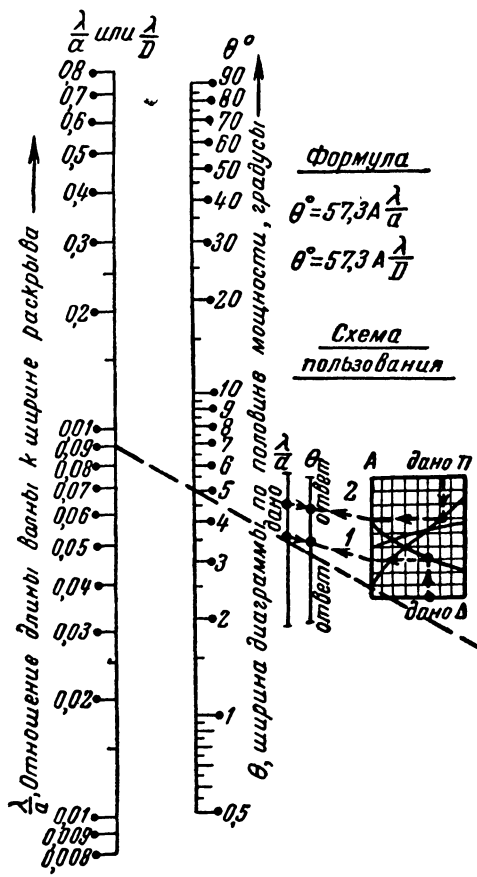
$$= \frac{\pi^2 D^2 f^2 k}{c^2}$$

$$\theta = \sqrt{\frac{4\pi}{G}}$$

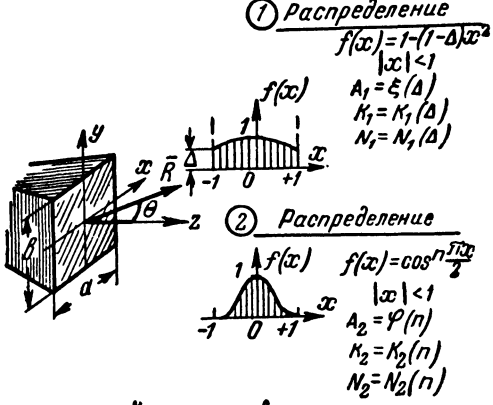
Пример
 дано:
 $f = 10000$ мггц
 $D = 200$ см
 $(S = 314 \cdot 10^4 \text{ см}^2)$
 $K = 0,6$
 находим:
 $G = 26400$
 $\theta = 1^\circ 20'$



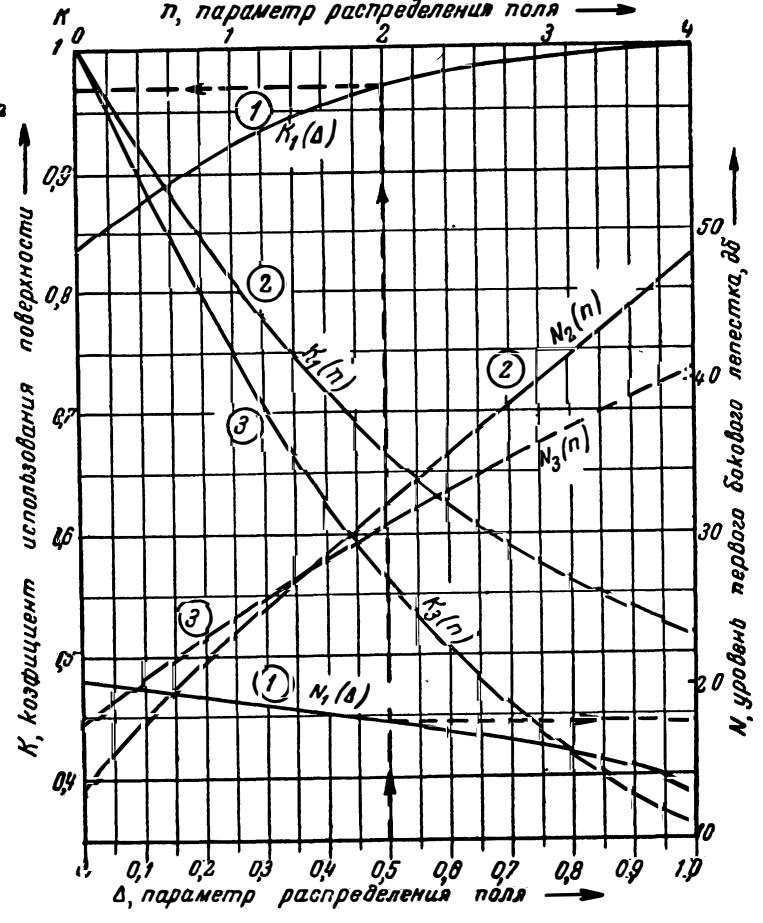
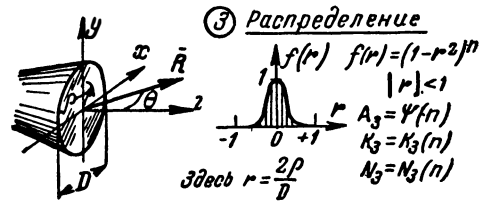
Номограмма № 68. Коэффициент направленного действия сантиметровых антенн.



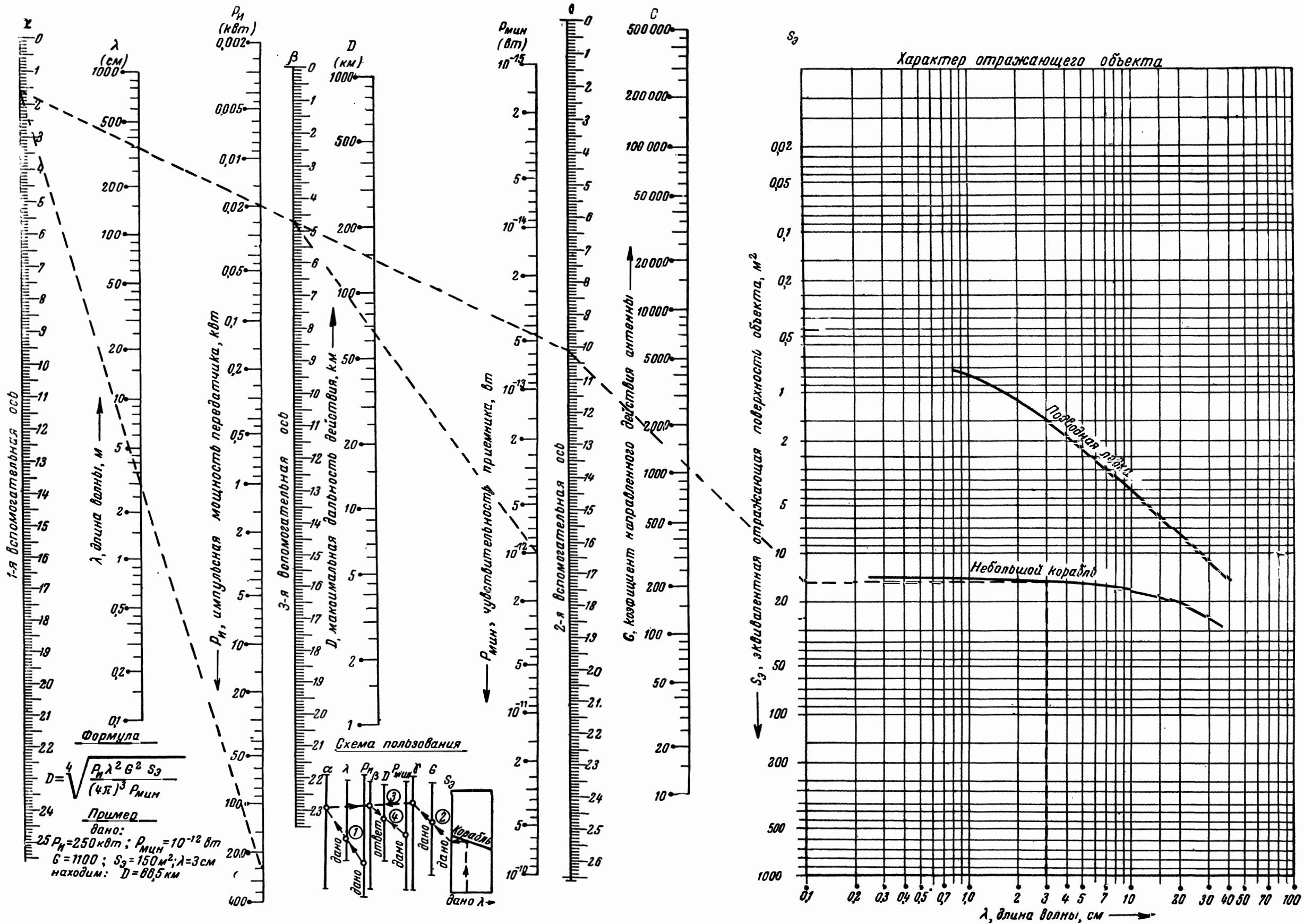
Прямоугольное отверстие



Круглое отверстие

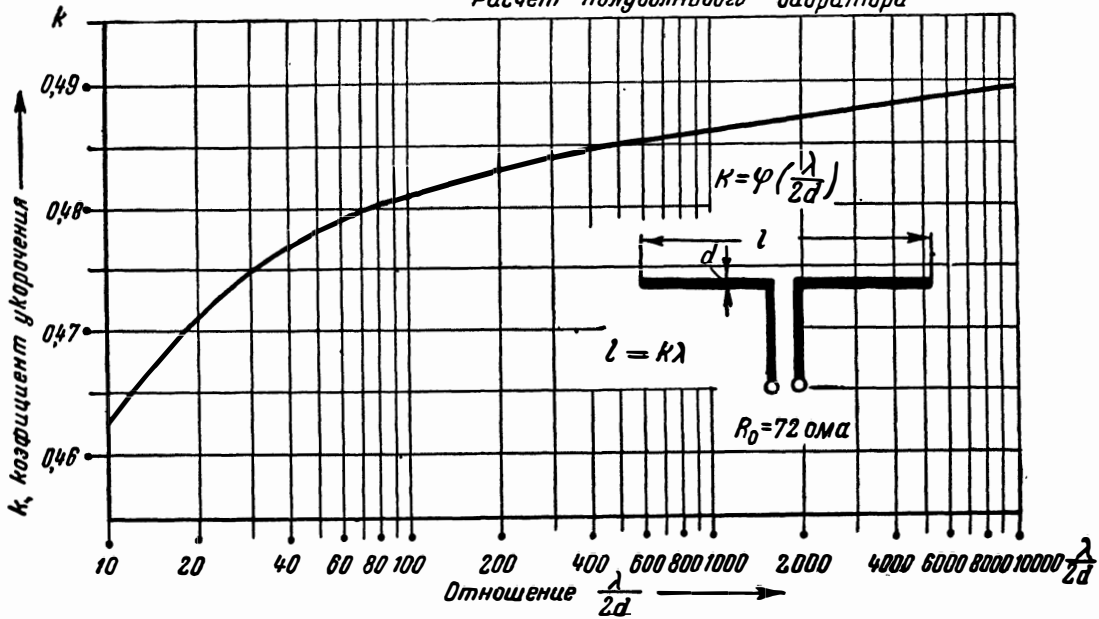


Нограмма № 69. Диаграмма направленности синфазных антенн.

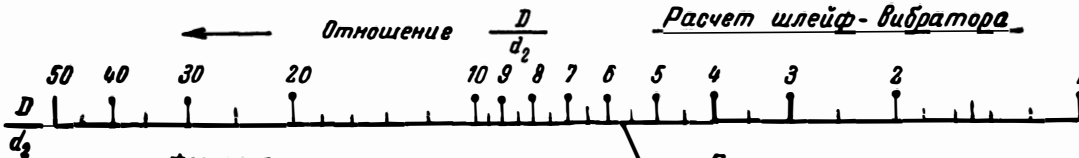


Номограмма № 70. Дальность действия радиолокатора.

Расчет полуволнового вибратора



Расчет шлейф-вибратора

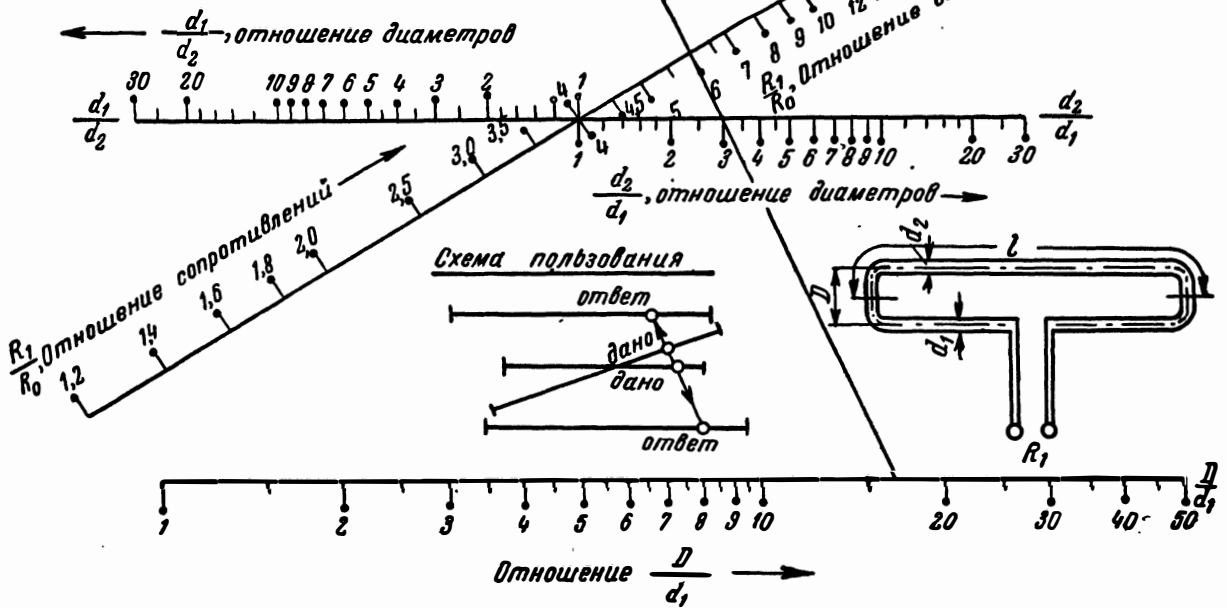


Формула

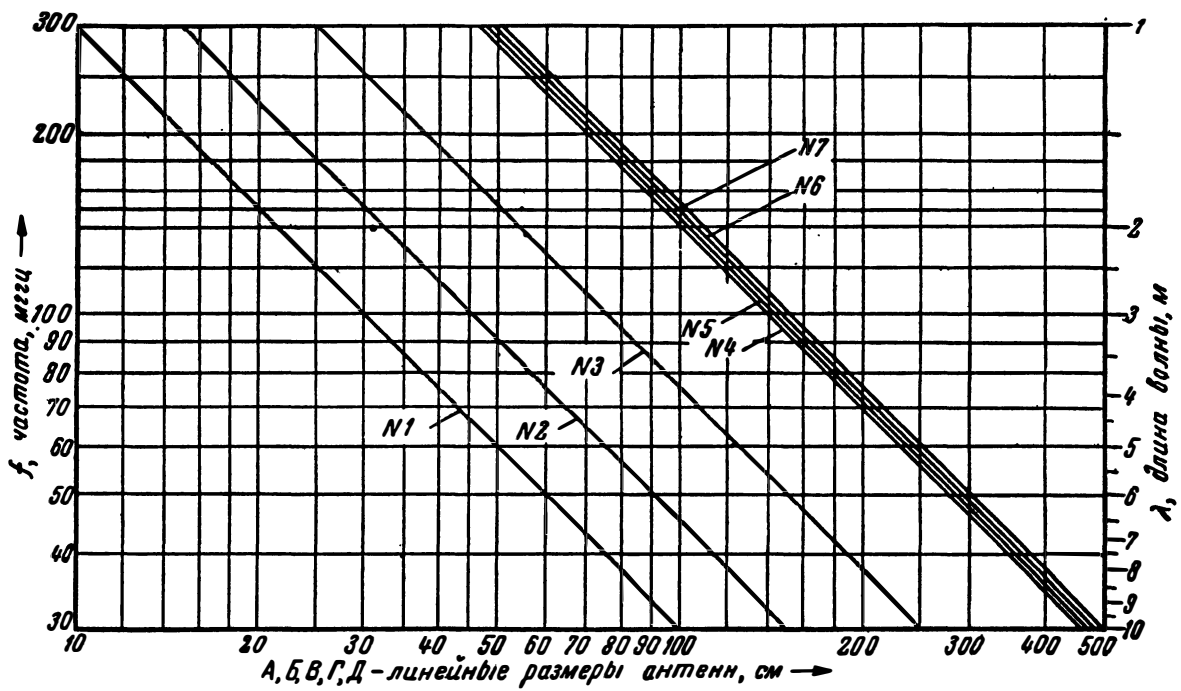
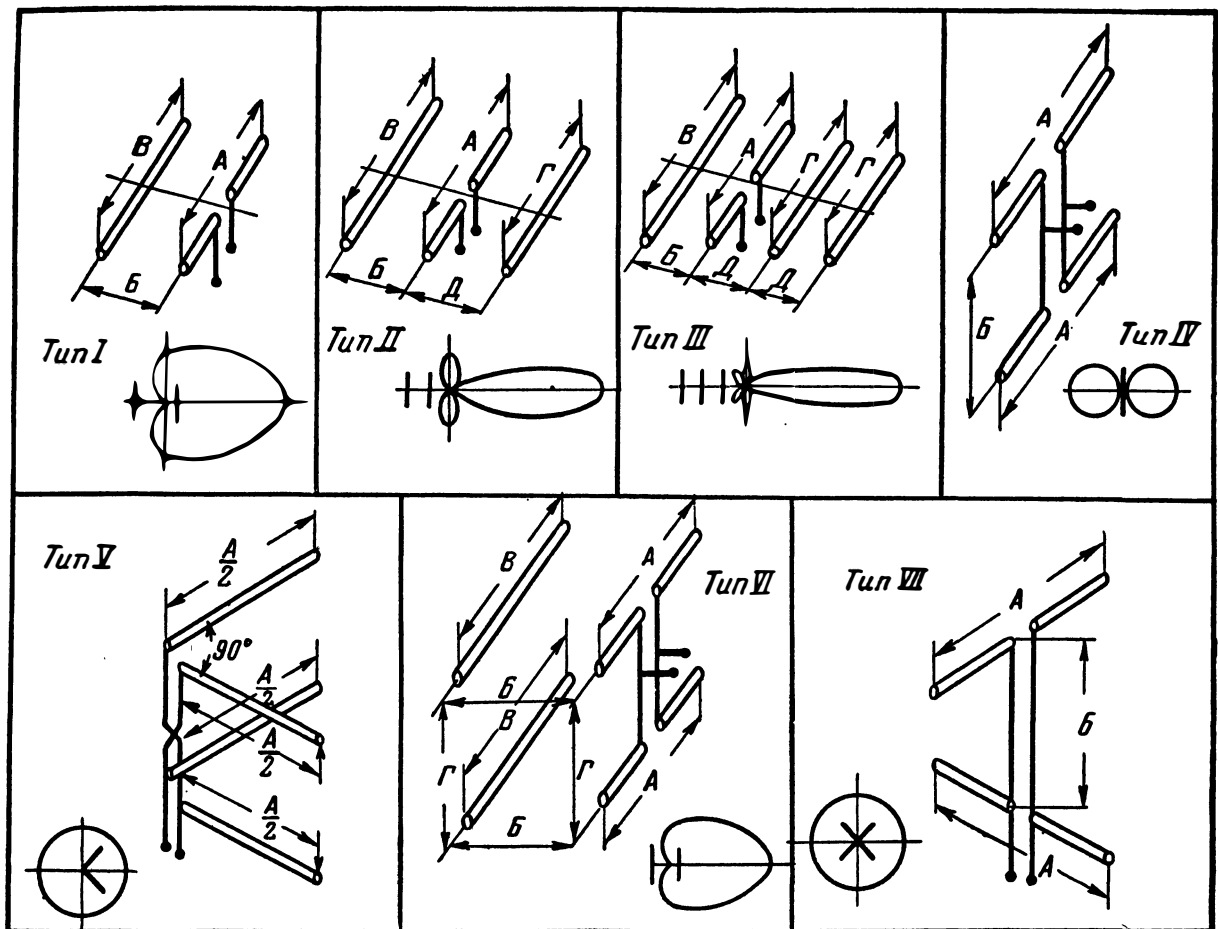
$$\frac{R_1}{R_0} = \left[1 + \frac{\lg \frac{2D}{d_1}}{\lg \frac{2D}{d_2}} \right]^2$$

Пример

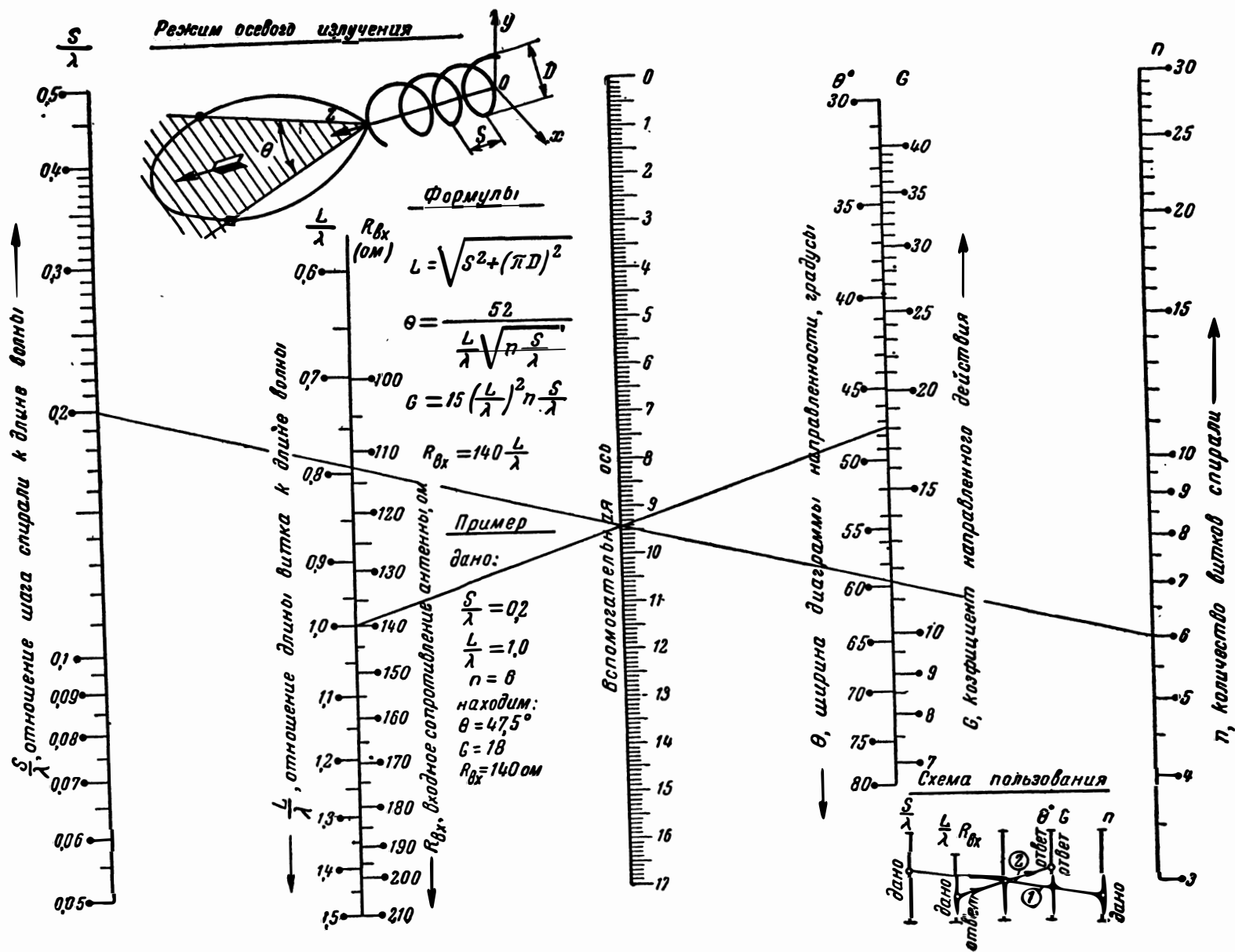
дано: $\frac{R_1}{R_0} = 6$; $\frac{d_2}{d_1} = 3$
 находим: $\frac{D}{d_2} = 5.7$; $\frac{D}{d_1} = 17$



Нограмма № 71. Расчет активных вибраторов.



Номограмма № 72. Расчет вибраторных антенн.



Номограмма № 73. Расчет спиральных антенн.

Цена 12 р. 55 к.