

ТЕХНИЧЕСКА ЛИТЕРАТУРА

---

ВЕНЕЛИН ЯНЕВ

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
НА  
РАДИОАПАРАТУРИТЕ



ДЪРЖАВНО ИЗДАТЕЛСТВО „НАУКА И ИЗКУСТВО“  
СОФИЯ—1956

**Д-р инж. Вемелия Янов**

**КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ  
НА  
РАДИОАПАРАТУРИТЕ**



**Държавно издателство "Наука и изкуство"**  
**София 1986**

## П Ъ Р В А   Г Л А В А

### СЪПРОТИВЛЕНИЯ

#### А. Предназначение, подразделение и характерни белези

Използуваните в радиоапаратурите съпротивления имат следното предназначение:

а/ да понижават напрежението. За тази цел се използват съпротивленията във веригите на екранните решетки на лампите, оттечните съпротивления, съпротивления като делители на напрежение и др.;

б/ да филтрират мрежовото напрежение /в схема с подходящи кондензатори/ и да възпрепятствуват проникването на висока, респективно звукова честота в токоизправителните групи;

в/ да бъдат като товарни съпротивления, например анодните съпротивления на усилватели с  $RC$  - връзка;

г/ да внасят допълнително затихване в трептящи кръгове;

д/ да регулират режима при експлоатационни условия;

е/ да ограничават началния отоплителен ток при включване на електронни лампи.

Благодарение на използваните съпротивления в различните точки от схемата на радиоустройството могат да се получат различни напрежения и ткове при захранване на цялото устройство от един единствен токов източник.

От конструктивна гледна точка съпротивленията могат да се разделят на следните групи:

1. Жични съпротивления: постоянни и променливи.
2. Силитни съпротивления: постоянни и променливи.
3. Обемни съпротивления: постоянни и променливи.

Към постоянните съпротивления се поставят различни изисквания, които представляват техни основни характеристики:

- а/ номинална стойност на съпротивлението в омове и допустими отклонения от тази стойност;
- б/ устойчивост на съпротивлението при работни условия: устойчивост с времето;
- в/ допустима индуктивност на съпротивлението;
- г/ разсеяна мощност, т.е. способност на съпротивлението да работи продължително време при определена сила на тока;
- д/ размери и тегло.

Към променливите съпротивления се поставят следните изисквания, които представляват също техните характеристики белези:

- а/ максимална съпротивителна стойност в омове;
- б/ минимална съпротивителна стойност в омове;
- в/ устойчивост на съпротивлението във фиксирано положение;
- г/ плавност в промяната на съпротивлението;
- д/ характер на промяната на съпротивлението;
- е/ сигурност на подвижния контакт;
- ж/ разсеяна мощност;
- з/ размери и тегло.

#### Е. Съпротивления в отоплителната верига

В отоплителната верига на електронните лампи се включват съпротивления, които имат следното предназначение:

1. Да поемат излишъка от напрежение в случаите, когато напрежението на отоплителния токодаточник превишава работното напрежение на отоплителната жичка на лампата.

2. Да служат едновременно като ограничители на пусковия ток и да поемат излишъка от напрежението.

3. Да служат като ограничители на началния /пусковия/ ток при включването на отоплителното напрежение, като остават постоянно включени в отоплителната верига.

4. Да служат като токови ограничители и постепенно или стъпално да се изключват, след като отоплителната жичка се нагрее.

За да може да се намери точната стойност на съпротивлението в отоплителната верига, необходимо е да се знае зависимостта между съпротивлението на отоплителната жичка и нейната температура.



Ако към отоплителната жичка се приложи напрежение  $U_f$  и при това се приеме, че всички останали съпротивления в отоплителната верига са равни на нула, тогава през отоплителната жичка протича максималният /начален/ отоплителен ток  $I_0$ , който се определя от съпротивлението на жичката в студено състояние  $R_0$  и от напрежението  $U_f$ .

$$I_0 = \frac{U_f}{R_0} \quad \text{I.1}$$

При протичане на ток жичката се нагрява, съпротивлението ѝ бързо нараства и поради това силата на тока намалява. Установява се отоплителният ток  $I_f$ , чиято величина зависи от приложеното напрежение и от размерите и материала на отоплителната жичка.

За да се определи силата на тока за волфрамови катоди, които се използват в лампи за средна и голяма мощност, на таблица I е дадена зависимостта на съпротивлението, тока и напрежението на волфрамовата жичка от работната температура.

Означенията в тази таблица се разбират така:

$\rho$  е специфичното съпротивление на волфрама в зависимост от температурата в  $\text{OMCM}$ ;

$\rho_{21/293}$  относителното увеличаване на специфичното съпротивление при изменение на температурата спрямо температурата от  $20^\circ\text{C}$ ;

$P_{21}$  - мощност във ватове, която е необходима за нагряване на катод с диаметър 1 см и дължина 1 см /катод с единични размери/;

$I_0$  - плътност на емисионния ток в амperi, отнесен на към 1  $\text{cm}^2$  катодна повърхност;

$I_f$  - отоплителен ток в амperi за катод с единични размери;

$U_{f1}$  - отоплително напрежение за катод с единични размери.

Използването на таблица I става по следния начин: за всяка определена температура от  $293 \pm 3000^\circ\text{K}$  в таблицата са дадени както специфичното съпротивление на волфрамовия катод, така и неговото относително нарастване. Също така са дадени необходимата мощност за нагряването на единица катод до тази температура, плътността на емисионния ток за  $\text{cm}^2$  катодна повърхност и необходимия отоплителен ток в отоплително напрежение за единичния катод.

Оттук може да се изчисли отоплителният ток на всеки катод, като се вземе под внимание, че силата на отоплителния ток при една и съща катодна темпе-

Таблица I

$T^{\circ}K$	$\rho \cdot 10^6$ [ОМСМ]	$\rho_T/\rho_{293}$	$\rho_T \left[ \frac{\rho_T}{\text{СМ}^2} \right]$	$I_s \left[ \frac{a}{\text{СМ}^2} \right]$	$I_{s1} \left[ \frac{a}{\text{СМ}^{3/2}} \right]$	$U_{s1} \cdot 10^{-3}$ [г] СМ <sup>3/2</sup>
293	5,49	1,00	0,0000	-	0	0
300	5,69	1,03	0,0000314	-	3,727	0,0268
400	8,056	1,467	0,00188	-	24,67	0,253
500	10,56	1,924	0,00971	-	47,62	0,640
600	13,23	2,41	0,0304	-	75,25	1,268
700	16,09	2,93	0,0764	-	108,2	2,218
800	19,00	3,46	0,169	-	148,0	3,581
900	21,94	4,00	0,322	-	193,1	5,393
1000	24,90	4,54	0,602	1,07 10	244,1	7,749
1100	27,94	5,08	1,027	1,52 10	301,0	10,71
1200	30,97	5,35	1,66	9,73 10	363,4	14,34
1300	34,08	6,22	2,57	3,21 10	430,9	18,70
1400	37,19	6,78	3,82	2,62 10	503,5	23,85
1500	40,36	7,36	5,52	9,14 10	580,6	29,85
1600	43,55	7,93	7,74	9,27 10	662,2	36,73
1700	46,78	8,52	10,62	7,08 10	747,3	44,52
1800	50,05	9,12	14,19	4,47 10	836,0	53,28
1900	53,35	9,72	18,64	2,28 10	927,4	63,02
2000	56,67	10,33	24,04	1,00 10	1022,0	73,75
2100	60,06	10,93	30,5	3,93 10	1119,0	85,57
2200	63,48	11,57	38,2	1,33 10	1217,0	98,40
2300	66,91	12,19	47,2	4,07 10	1319,0	112,4
2400	70,39	12,83	57,7	0,116	1422,0	127,5
2500	73,91	13,47	69,8	0,298	1526	143,6
2600	77,49	14,12	83,8	0,716	1632,0	161,1
2700	81,04	14,76	99,6	1,631	1,741,0	179,7
2800	84,70	15,43	117,6	3,54	1,849	199,5
2900	88,33	16,10	137,8	7,31	1,961	220,6
3000	92,04	16,77	180,5	14,15	2,072	243,0

ратура е пропорционална на  $d^{3/2}$ , където  $d$  е диаметърът на катода. Отоплителното напрежение е пропорционално на дължината на отоплителната жичка и обратно пропорционално на  $d^{1/2}$ .

Следователно, за да се намерят точните стойности на отоплителния ток и отоплителното напрежение за всяка работна температура, необходимо е да са известни диаметърът и дължината на отоплителната жичка.

Ако искаме да изчислим  $U_f$  и  $I_f$  за лампата F-2000, постъпваме по следния начин.

Работната температура на отоплителната жичка е приблизително  $2650^\circ K$ , а размерите ѝ са

$$d = 0,1 \text{ cm} \quad l = 30 \text{ cm} (= 2 \cdot 15 \text{ cm})$$

От таблица 1 чрез интерполация намираме за  $2650^\circ K$  отоплителните данни за катода с единица размери:

$$I_{f1} = 1685 \frac{\alpha}{\text{cm}^{3/2}} ; \quad U_{f1} = 170,4 \cdot 10^{-3} \frac{\text{v}}{\text{cm}^{1/2}}$$

Според гореизложеното отоплителният ток ще бъде

$$I_f = I_{f1} \cdot d^{3/2} = \frac{1685}{10^{3/2}} = 53,2 \alpha ,$$

а отоплителното напрежение

$$U_f = U_{f1} \cdot \frac{l}{d^{1/2}} = 170,4 \cdot 10^{-3} \frac{30}{0,1^{1/2}} = 16 \text{ v} ,$$

което съвпада почти напълно с фабричните данни за лампата

$$I_f = 54 \alpha \quad U_f = 16 \text{ v}$$

Необходимото време за установяване на нормалния отоплителен ток  $I_f$  зависи преди всичко от топлемостта на жичката. Известно влияние оказва и топлопроводимостта на крепежните елементи /пружинки и др./ които поддържат отоплителната жичка, а също и отдаването на топлина чрез излъчване. Това време е от порядъка на 1 секунда за маломощни лампи и няколко секунди или десетки секунди за мощни лампи.

От гледна точка на физиката могат да се направят следните основни заключения за протичащия процес:

1. При включване през отоплителната жичка протича много силен ток /ако липсва ограничително съпротивление/. Температурата на катода започва да нараства плавно. През време на този процес температурата не достига стойности, които са по-високи от работната температура, т.е. отоплителната жичка не е застрашена от прегаряне, въпреки че началният ток е много по-силен от работния.

2. Времетраенето на преходния процес расте с размерите на отоплителната жичка.

3. Катодът притежава ценното свойство да регулира сам своя отоплителен ток, който се намалява от момента на включването до момента на достигане на своята нормална стойност, която се определя от размерите на отоплителната жичка и от приложеното напрежение.

От горното следва, че за да се регулира нагряването на отоплителната жичка, електронната лампа не се нуждае от ограничителни съпротивления. Тези съпротивления са неосходими, за да се ограничи пусковият ток, а заедно с него и значителните механически сили, които възникват в жичката в момента на включването.

Трябва да се има предвид, че в повечето лампи отоплителната жичка има формата на буквата U, като при това разстоянието между вертикалните участъци на жичката не превишава няколко мм. Благодарение на взаимодействието на магнитните полета, които се създават от отоплителния ток и които са твърде силни в момента на включването, приложените към жичката механически сили раздвигват последната, вследствие на което тя може да се деформира, да се приближи например до решетката или напълно да се повреди.

Както е известно от електродинамиката, силата, с която се отблъскват два паралелни проводника, може да се намери от уравнението

$$F = 2,04 \cdot 10^{-5} \frac{I^2}{a} \cdot l, \text{ г} \quad \text{I. 2}$$

където  $I$  е токът в амperi;

$a$  - разстоянието между проводниците в см;

$l$  - дължината на проводника /разстоянието между точките, в които е закрепена отоплителната жичка/;

$F$  - механическата сила в грамове.

Ако разгледаме отново случая с лампата Г - 2000, в горното уравнение трябва да въведем

$$a = 0,5 \text{ см}; I = I_0 = 783 \text{ а}; l = 15 \text{ см}.$$

Механичната сила за 1 см дължина на жичката ще бъде

$$F_1 = 2,04 \cdot 10^{-5} \frac{783^2}{0,5} = 25 \text{ г/см}$$

Силата, която действа върху всяка половина на отоплителната жичка, е

$$F = F_1 \cdot l = 25 \cdot 15 = 375 \text{ г}$$

Очевидно е, че тази механическа сила е в състояние да предизвика не само значителна деформация на жичката, но и да я отклони от нормалното ѝ положение.

От изчислението, което сме извършили по-долу, се вижда, че при нормален работен ток механичната сила е незначителна:

$$F = 2,04 \cdot 10^{-5} \frac{54^2}{0,5} \cdot 15 = 1,8 \text{ г}$$

Поради тези причини максималната допустима стойност на пусковия ток не трябва да бъде по-голяма от два до три пъти стойността на работния ток.

#### Съпротивление, което поема излишното напрежение

Използуваното в този случай съпротивление е постоянно. То се включва в отоплителната верига и трябва да се оразмери, за да се продължи работата при работния ток на отоплителната жичка. Неговата съпротивителна стойност се намира от уравнението,

$$R_2 = \frac{U - U_f}{I_f} \quad \text{I.3}$$

където  $U$  е напрежението на отоплителния токоизточник,  $U_f$  - отоплителното напрежение на лампата.

Ако лампата се захранва с променливо напрежение, съпротивлението може да се включи в гървичната страна на отоплителния трансформатор. В такъв случай то е обикновено с по-голяма съпротивителна стойност, но предназначено за по-слаб ток:

$$R_1 = \frac{R_2}{n^2} \quad I_1 = n I_2, \text{ където} \quad n = \frac{W_2}{W_1} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{J_1}{J_2}$$

Не трябва да се забравя, че през съпротивлението тук тече и намагнитващият ток на трансформатора.

### Съпротивление за ограничаване на пусковия ток

Това съпротивление има за задача да ограничи пусковия ток в момента на включването. То има постоянна стойност и остава включено и през време на работата на лампата. Съпротивителната му стойност е в зависимост от допустимия пусков ток и от разликата в съпротивлението на жичката в хладно и нагрятото състояние.

За да се изчисли сграницителното съпротивление, изхожда се от следното уравнение:

$$U = I_o (R_o + R) = I_f (R_f + R) \quad , \quad \text{I. 4.}$$

където  $U$  е напрежението на токоизточника;

$I_o$  - пусковият ток в амperi;

$I_f$  - работният отоплителен ток;

$R_o$  - съпротивлението на отоплителната жичка в хладно състояние;

$R_f$  - съпротивлението на отоплителната жичка в нагрятото състояние;

$R$  - ограничителното съпротивление.

Ако означим

$$K = \frac{I_o}{I_f} \quad K \geq 1 \quad p = \frac{R_f}{R_o} \quad p > 1 \quad ,$$

където  $K$  е отношението между пусков и работен ток, а  $p$  - отношението между съпротивлението на жичката в горещо и хладно състояние, тогава от горното уравнение следва

$$\frac{I_o}{I_f} (R_o + R) = R_f + R$$

$$K \left( \frac{R_o}{p} + R \right) = R_f + R$$

$$\left(\frac{K}{p} - 1\right) R_f = R(1 - K)$$

Най-после за ограничителното съпротивление  $R$  намираме

$$R = \frac{K - p}{p(1 - K)} R_f = \frac{p - K}{(K - 1)p} \cdot R_f \quad \text{I.5}$$

Обикновено  $K$  се избира от 1, 5 ÷ 3. Коефициентът  $p$  се избира от таблица I.

Пример. Да се намери ограничителното съпротивление за лампата Г-891, при условие че пусковият ток не трябва да превишава три пъти работния ток

$$(K = 3 \quad U_f = 11 \text{ в} ; \quad I_f = 60 \text{ а})$$

Решение. От таблица I намираме коефициента  $p$  за катодна температура  $2650^\circ \text{K}$  :

$$p = \frac{R_f}{R_0} = \frac{P_f}{P_0} = 14.5 .$$

От отношението на отоплителното напрежение към отоплителния ток намираме за съпротивлението  $R_f$  на жичката в нагрято състояние следната стойност:

$$R_f = \frac{U_f}{I_f} = \frac{11}{60} = 0,183 \text{ ом}$$

Тогава

$$R = \frac{p - K}{p(K - 1)} \cdot R_f = \frac{14,5 - 3}{14,5(3 - 1)} \cdot 0,183 = \frac{11,5}{29} \cdot 0,183 = 0,0725 \text{ ом}$$

Ако се установи нормален отоплителен ток, съпротивлението на жичката нараства до 0,183 ом , а пълното съпротивление на отоплителната верига е

$$R'_f = R + R_f = 0,183 + 0,0725 = 0,2555 \text{ ом}$$

Напрежението на отоплителния ток източник трябва да бъде

$$U = I_f \cdot R'_f = 60 \cdot 0,256 = 15,35 \text{ в} .$$

Мощността, която се разсейва върху ограничителното съпротивление, е

$$p' = R \cdot I_f^2 = 0,0725 \cdot 60^2 = 260 \text{ вт}$$

### Ограничаване на пусковия ток чрез реостат

В редица случаи в отоплителната верига се включва променливо съпротивление /реостат/, което служи за ограничаване на пусковия ток, който постепенно се изключва. Реостатът остава включен в отоплителната верига само кратко време, поради което не е необходимо да бъде оразмерен за пълния отоплителен ток. Неговата съпротивителна стойност се изчислява от

$$U_f = I_f R_f = I_o (R_o + R) \quad \text{I.6.}$$

Ако и ток се въведе

$$\frac{I_o}{I_f} = K \quad \frac{R_f}{R_o} = p ,$$

че се получи

$$K(R_o + R) = R_f$$

$$\frac{K}{p} R_f + KR = R_f ,$$

или

$$R = \frac{R_f \left(1 - \frac{K}{p}\right)}{K} = \frac{p - K}{p \cdot K} R_f \quad \text{I.7.}$$

**Пример.** Да се намери максималното съпротивление на реостата за отоплителната верига на лампата, която се използва в предишния пример, при условие че пусковият ток не трябва да превишава работния ток / $K=1$ /.

**Решение.** От уравнение I.7 следва

$$R = \frac{p - K}{p \cdot K} R_f = \frac{14,5 - 1}{14,5} \cdot 0,183 = 0,17 \text{ ек}$$



Ограничаване на пусковия ток и поемане на излишъка от отоплителното напрежение

Максималното съпротивление на реостата  $R$  се намира от уравнение 1.7, като прибавим към дясната му страна една част от реостата - съпротивлението  $R_1$ , което поема излишното напрежение. Съпротивлението  $R_1$  остава постоянно включено в отоплителната верига. След това реостатът се регулира така, че да може в отоплителната верига да протече токът  $I_f$ .  
Тогава:

$$\kappa(R_0 + R) = R_f + R_1, \quad \text{I.8}$$

или

$$\kappa \frac{R_f}{p} + \kappa R = R_f + R_1,$$

откъдето за  $R$  получаваме

$$R = \frac{R_f + R_1 - \kappa \frac{R_f}{p}}{\kappa},$$

или

$$R = \frac{p - \kappa}{p} \cdot \frac{R_f}{\kappa} + \frac{R_1}{\kappa}. \quad \text{I.9}$$

Стойността на  $R_1$  се определя от уравнение 1.3:

$$R_1 = \frac{U - U_f}{I_f}$$

Пример. За същия случай, както в предишния пример да се изчисли необходимото съпротивление, което поема излишното напрежение при захранване с отоплителен ток източник с напрежение 18 в:

$$R = \frac{U - U_f}{I_f} = \frac{18 - 11}{60} = \frac{7}{60} = 0,117 \text{ ом}.$$

Съгласно I.9 максималното съпротивление на реостата в този случай е:

$$R = \frac{14,5 - 1}{14,5} \cdot 0,183 + \frac{0,117}{1} = 0,170 + 0,117 = 0,287 \text{ ом}$$

$R_1$  трябва да бъде разчетено на пълния работен ток, докато  $R_1' = 0,170$  ом се натоварва само кратковременно.

И в този случай, както и във всички предшестващи, изчислените съпротивления могат да се включат към първичната страна на отоплителния трансформатор, ако захранването на отоплението е променливотоково. В такъв случай

$$R_1 = \frac{R_2}{n^2} \quad I_1 = n \cdot I_2 ; \quad n = \frac{U_2}{U_1} = \frac{W_2}{W_1} , \quad \text{I.10.}$$

където  $n$  е преводното отншение на трансформатора;  
 $I_1, I_2$  - първичен и вторичен ток;  
 $R_1, R_2$  - съпротивителни стойности на ограничителното съпротивление, ако то е включено в първичната или вторичната страна.

Очевидно е, че разсеяната върху съпротивлението мощност е приблизително една и съща и не зависи от това, дали то е включено в първичната или вторичната верига на трансформатора.

#### Симетрирано съпротивление при отспление с променлив ток

Включването на симетрирано съпротивление е наложително, за да се намали бръмченето, което се получава вследствие променливотоковото отспление на лампата. Обикновено се използва променливо съпротивление с плъзгач, който позволява да се избере правилно средната /нулевата/ точка на потенциометъра.

Към симетрираното съпротивление е приложено пълно отоплително напрежение. Поради това то не трябва да бъде много малко, за да не се получи голям разход на електрическа енергия върху него. От друга страна, ако то е много голямо, върху него ще се получи значително падение от постоянния аноден ток, т.е. катодът на лампата ще се окаже на положителен потенциал спрямо нулевата точка. Практически този вид съпротивления имат стойности от 25 до 100 ома.

През симетриращото съпротивление  $R_c$  протича ток, който има две съставляващи: променлива и постоянна.

1. Първата е с ефективна стойност

$$I_{1ef} = \frac{U_f}{R_c} \quad \text{I.11}$$

2. Втората е равна на 1/2 от катодния ток на лампата. Той се разделя на две равни части, всяка една от които протича през половината от съпротивлението  $R_c$ .

Резултатният ток, който определя нагряването на съпротивлението, е

$$I = \sqrt{I_{1ef}^2 + \left(\frac{I_0}{2}\right)^2} \quad \text{I.12}$$

Разсеяната върху съпротивлението мощност е

$$P_c = I^2 R_c \quad \text{I.13}$$

### В. Съпротивлението като делител на анодно напрежение

Според означението на фиг. I.1 съществуват следните съотношения:

Съпротивление, което товари токовия източник,

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_a}{R_2 + R_a} = R_1 + R_{2a} \quad \text{I.14}$$

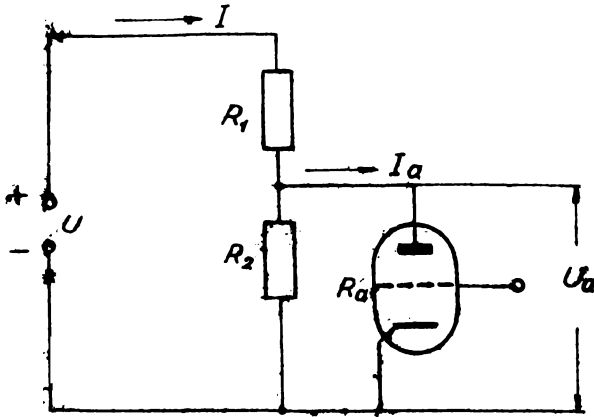
Товарно съпротивление

$$R_a = \frac{U_a}{I_a} \quad \text{I.15}$$

От друга страна трябва да е изпълнено следното равенство:

$$P = \frac{U_a}{U} = \frac{R_{2a}}{R_1 + R_{2a}} \quad \text{I.16}$$

От тези уравнения следва, че съпротивлението  $R_1$  се товари с пълния ток  $I$ , който се черпи от източника, а шунтираната от лампата част  $R_2$  се товари с тока



$$I_2 = I - I_a$$

Когато не е необходимо анодното напрежение на лампата да се регулира, за  $R_1$  и  $R_2$  могат да се използват две, постоянни съпротивления, свързани последователно, или едно съпротивление с постоянно фиксирано отклонение.

Изчисляването на потенциометъра се извършва според по-

Фиг. I. 1

дочения по-долу пример.

Да се изчисли потенциометър при следните условия: напрежение на токоизточника  $U = 3 \text{ kV}$ , ток  $I = 1 \text{ A}$ . Захранва се лампов генератор с напрежение  $U_a = 2 \text{ kV}$  и ток  $I_a = 0,8 \text{ A}$

Решение.

1. Съпротивлението на потенциометъра трябва да се подбере така, че токът, който се черпи от токоизправителя, да не превишава  $I = 1 \text{ A}$ . Така се получава

$$I_a = 0,8 \text{ A}; \quad I_2 = 0,2 \text{ A}; \quad I = 1 \text{ A};$$

$$R_a = \frac{U_a}{I_a} = \frac{2000}{0,8} = 2500 \text{ ohm}$$

2. От условието

$$\frac{I_a}{I_2} = \frac{R_2}{R_a}$$

и

$$R_2 = R_a \frac{I_a}{I_2} = 2500 \frac{0,8}{0,2} = 10 \text{ kOhm}$$

Следователно еквивалентното съпротивление на мултираната от лампата част на потенциометъра е

$$R_{2a} = \frac{R_a \cdot R_2}{R_a + R_2} = \frac{2500 \cdot 10000}{12500} = 2000 \text{ ом}$$

3. Съпротивлението  $R_1$  следва от

$$N = \frac{U_a}{U} = \frac{R_{2a}}{R_1 + R_{2a}} \text{ или } \frac{2000}{3000} = \frac{2000}{R_1 + 2000}$$

т.е.

$$R_1 = 1000 \text{ ом,}$$

4.  $R_1$  трябва да се изчисли за ток  $1a$ , а  $R_2$  - за ток  $0,2a$ .

5. Разсеяната в потенциометъра мощност

$$P = I^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 1,1000 + 0,04 \cdot 10^4 = 14,00 \text{ вт}$$

Значително по-затруднено е изчислението на потенциометърът, който захранва лампа, представляваща променлив товар. Такъв случай имаме при усилвател, който работи във  $B$  или  $C$  режим и чийто постоянен ток консумация зависи от амплитудата на подадения към решетката сигнал. В такъв случай се намира от условието, че анодното напрежение на лампата не трябва да се изменя над определени граници.

При отпущена лампа

$$p = \frac{U_a}{U} = \frac{R_{2a}}{R_1 + R_{2a}} = \frac{R_2 R_a}{(R_2 + R_a) \left[ R_1 + \frac{R_2 R_a}{R_2 + R_a} \right]} \quad \text{I.17.}$$

Когато лампата е запушена, разпределението на напрежението по потенциометъра е друго. То следва от

$$p' = \frac{U_a'}{U} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{I.18.}$$

Ако означим отношението на анодното напрежение при празен ход към напрежението при товар с  $K = \frac{U_a'}{U_a}$ , следва

$$K = \frac{U'_a}{U_a} = \frac{R_2 (R_2 + R_a) (R_1 + \frac{R_2 R_a}{R_2 + R_a})}{(R_1 + R_2) (R_2 R_a)} . \quad \text{I. 19}$$

Ако решим уравнението I. 18 и I. 19 относно  $R_1$  и  $R_2$  и изразим последните чрез  $p$ ,  $K$  и  $R_a$ , получаваме

$$R_1 = \frac{K-1}{K-p} R_a \quad \text{I. 20}$$

$$R_2 = \frac{K-1}{1-Kp} R_a \quad \text{I. 21}$$

Пример. Да се изчисли потенциометърът от предишния пример, при условие че изменението на напрежението между пълен товар и празен ход не превишава 20 %.

Решение.  $p = \frac{2}{3} = 0,67$     $K = 1,2$     $R_a = 2500 \text{ ом}$  ;

$$R_1 = \frac{K-1}{K-p} \cdot R_a = \frac{1,2-1}{1,2 \cdot 0,67} 2500 = \frac{0,2}{0,8} 2500 = 625 \text{ ом} ;$$

$$R_2 = \frac{K-1}{1-Kp} R_a = \frac{0,2}{1-0,8} 2500 = 2500 \text{ ом} ;$$

$$I_1 = \frac{3000}{625 + 1250} = 1,6 \text{ а} \quad \text{при пълен товар.}$$

Както се вижда, за да се осигури достатъчна стабилност на напрежението, трябва да се работи със сравнително нискоомен потенциометър, което е свързано със значителен разход на електрическа енергия в потенциометъра:

$$I_2 = \frac{3000}{625 + 2500} = 0,96 \text{ а} \quad \text{при блокирана лампа;}$$

$$U_{a1} = \frac{R_{a2}}{R_1 + R_{a2}} U = \frac{1250 \cdot 3000}{625 + 1250} = 2000 \text{ в} ;$$

$$U_{a_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = \frac{2500}{625 + 2500} \cdot 3000 = 2400 \text{ в}$$

Поета от потенциометъра мед:

$$P_1 = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = 1,6^2 \cdot 625 + 0,8^2 \cdot 2500 = 3200 \text{ вт};$$

$$P_2 = I_2^2 (R_1 + R_2) = 0,96^2 (625 + 2500) = 2880 \text{ вт}$$

### Г. Постоянни жични съпротивления

За направата на жични съпротивления се използват проводници от специални сплави с повишено специфично съпротивление. Съпротивленията се навиват във вид на свободни спирали или на цилиндрични, или плоски тегла от изолационен и топлинно устойчив материал. Намотката на съпротивлението може да бъде еднослойна или многослойна.

В зависимост от изискванията се предявяват към съпротивителната стойност, съпротивителната стабилност и мощност на съпротивлението, избира се проводник от подходящ материал и с подходящо сечение. На таблица II са дадени основните характеристики на най-важните сплави, които се използват за съпротивителни проводници

Таблица II

Материал	Специфично съпротивление, $\rho$ ом мм <sup>2</sup> /м	Температурен коефициент, $\alpha$ /за 1°С	Точка на топене, °С	Максимална раб. темп., °С	Спец. тегло
Константан	0,48	5,10	1200	500	8,9
Манганин	0,4	2,10	900	100	8,1
Никелин	0,42	2,10	1100	150	8,9
Нойзибер	0,32	4,10	-	150	8,5
Нихром	1,1	2,10	1500	1000	8,2
Резтан	0,3	4,10	-	150	8,6

Жичните съпротивления се изработват със съпротивителни стойности от няколко ома до няколко десетки килоома. По-високоомни съпротивления от този тип не се използват, понеже са значително по-скъпи и по-обемисти от необходимите съпротивления. Голямо предимство за жичните съпротивления представлява тяхната значителна съпротивителна стабилност, както и способността им да разсейват големи електрически мощности.

Съпротивителната стойност на жичното съпротивление се определя от

$$R = \rho \frac{l}{q}, \quad \text{I.22}$$

където  $R$  е в оме,  
 $\rho$  - в ом мм<sup>2</sup>/м  
 $l$  - в метри, а  
 $q$  - в мм<sup>2</sup>.

Дължината на необходимия проводник, когато са дадени  $\rho$ ,  $q$  и  $R$ , се намира по следната приблизителна формула:

$$l = \frac{R q}{\rho} \cdot k, \quad \text{I.23}$$

където  $K = 0,97$  е коефициент, който отчита удължаването на проводника и намаляването на сечението му вследствие навиването. Трябва да се има предвид, че обикновено сечението на използвания проводник не е константно. Ако то се изменя до  $\pm 10\%$ , използването на коефициента  $K$  няма смисъл.

На фиг. I. 2 са дадени схематично типовете намотки със жични съпротивления. За конструктивното изчисление на тези намотки се използват следните формули:

а/ За цилиндрична еднослойна намотка фиг. I.2а. Дължината на една намотка в мм е

$$l = \frac{\pi D}{\cos \alpha} = \frac{L \cdot 10^3}{W \cdot K} = \frac{785 \cdot R \cdot d^2}{\rho \cdot W \cdot K}. \quad \text{I.24}$$

Броят на навивките

$$W = \frac{10^3 L}{K \cdot l} = \frac{L \cos \alpha}{K \cdot \pi \cdot D} = \frac{B - d}{g} = 785 \frac{R d^2}{\rho l k}. \quad \text{I.25}$$



Дължината на проводника в метри е

$$L = \ell w k 10^{-3} = 0,785 \frac{R d^2}{\rho} = \frac{\pi D, \text{mm}}{\cos \alpha} k 10^{-2} \quad \text{I. 26}$$

Дължината на намотката в мм е

$$B = w g + d = \frac{L \cos \alpha g}{\pi D_1} 10^3 + d \quad \text{I. 27}$$

Стъпката на намотката в мм е

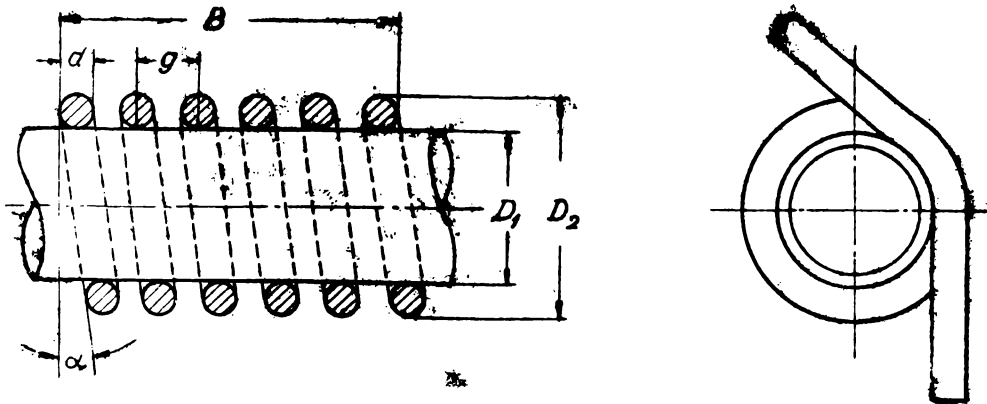
$$g = \frac{B - d}{w} = \frac{(B - d) \rho k}{785 R d^2}; \quad \text{tg } \alpha = \frac{g}{\pi(D_1 + d)} \quad \text{I. 28}$$

$$D_2 = D_1 + 2d$$

Повърхността, която излъчва топлина в  $\text{cm}^2$ , е

$$S = \pi D_2 B 10^{-2} \quad \text{I. 29}$$

Използуваните означения са дадени на фиг. I.2a



Фиг. I.2a

б/ За намотка върху плоско тяло/фиг. I.26./  
Дължината на една навивка е

$$\ell = \frac{2h + 2A + \pi d f}{\cos \alpha} = \frac{L \cdot 10^3}{w k} = 785 \frac{R d^2}{\rho w k} \quad \text{I. 30}$$

Броят на навивките е

$$w = \frac{L \cdot 10^3}{\kappa \ell} = \frac{L \cdot \cos \alpha \cdot 10^3}{(2h + 2A + \pi d f) \kappa} = \frac{B - d}{g} \quad \text{I.31}$$

Дължината на проводника между е

$$L = \ell w \kappa 10^{-3} = 0,785 \frac{R d^2}{\rho} = \frac{(2h + 2A + \pi d f) \kappa w}{\cos \alpha} \quad \text{I.32}$$

Дължината на намотката мм е

$$B = w \cdot g + d = \frac{L \cdot \cos \alpha \cdot g \cdot 10^3}{\kappa (2h + 2A + \pi d f)} + d = 785 \frac{R d^2 g}{\rho \ell \kappa} + d \quad \text{I.33}$$

Степената на намотката в мм е

$$g = \frac{B - d}{w} = \frac{(B - d) \rho \ell \kappa}{785 R d^2} = (2h + 2A + \pi d f) \operatorname{tg} \alpha \quad \text{I.34}$$

Повърхността, която излъчва топлина в  $\text{cm}^2$ , е

$$S = 2B(h + A + \pi d f) 10^{-2} \quad \text{I.35}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = t \frac{1}{2h + 2A + \pi d f} \quad \text{I.36}$$

Коефициентът  $f$  отчита огъването на проводника ъглите на плоското тяло. Когато плоското тяло е по-мекко от проводника, коефициентът  $f = 0,82$ , а когато тялото е по-твърдо от проводника, коефициентът  $f = 1,08$ .

$$h_1 = h + 2d \quad A_1 = A + 2d \quad \text{I.37}$$

в/св многослойна медова нивка в/фиг. I.2в/  
Дължината на един навивка в мм

$$\ell_{cp} = \pi \frac{D_1 + D}{2} = \frac{L \cdot 10^3}{w \kappa} = \frac{785 \cdot R \cdot d^2}{\rho \cdot w \cdot \kappa} \quad \text{I.38}$$

Вр на навивките е

$$w = \frac{L \cdot 10^3}{\kappa \cdot l_{cp}} = \frac{2 \cdot L \cdot 10^3}{\kappa \pi (D_1 + D)} = \frac{785 R d^2}{\rho l_{cp} \kappa} = \frac{B (D_1 - D)}{2 d_1^2} \text{ м}$$

Дължината на проводника в метри е

$$L = l_{cp} w \cdot \kappa \cdot 10^{-3} = 0,785 \frac{R d^2}{\rho} = \pi w \kappa \frac{D_1 + D}{2} 10^{-3}. \quad \text{I. 40}$$

Дължината на намотката в мм е

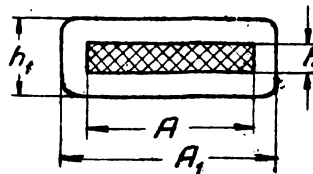
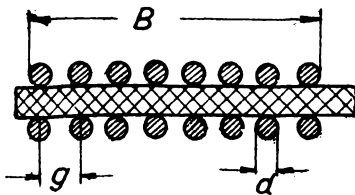
$$B = \frac{2 w d_1^2}{(D_1 - D) \cdot m} = \frac{4 L d_1^2 10^3}{(D_1^2 - D^2) \kappa \pi m} \quad \text{I. 41}$$

Външният диаметър на намотката в мм е

$$D_1 = \frac{2 w d^2}{B m} + D; \quad \text{I. 42}$$

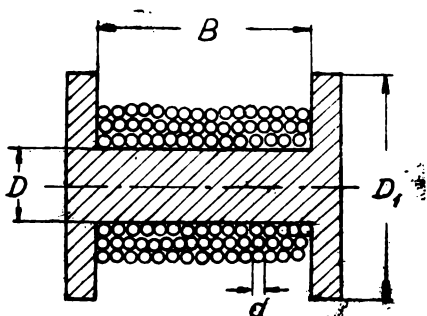
$m = 0$  за проводник с лакова изолация;

$m = 1$  за проводник с пам. изолация.



При масово производство на жички съпротивления и при добре организирана работа може да се осигури отклонение от номиналната стойност на съпротивлението от 3 до 5 %, без да бъдат специално изравнени съпротивленията. За тази цел трябва да се установи броят на навивките за всяка нова използвана партида проводник. В повечето случаи точност от  $\pm 5\%$  е напълно достатъчна. При производството на единични бройки специалното изравняване може да се осъществи с точност до  $\pm 0,1\%$ .

За да не се претовари проводникът при продължителна работа, неговото сечение при еднослойна намотка без изолация и при топлинно устойчиво тяло трябва да се избере така, че плътността на тока да не превишава  $10 \text{ а/мм}^2$ . За многослойни съпротивления гъстотата на тока се избира в зависимост от охлаждаща повърхност от 2 до  $4 \text{ а/мм}^2$ . При тези условия температурата на проводника при продължителна работа не трябва да превишава околната температура с повече от  $60^\circ\text{C}$ .



Фиг. 1.2 в

В много случаи се изхожда и от отношението между разсеяна мощност и охлаждаща повърхност. Счита се, че за правилно охлаждане съпротивлението трябва да има повърхност 5 до  $10 \text{ см}^2$  на 1 ват разсеяна мощност.

Условията за охлаждане са значително по-добри при глазираните съпротивления, при които проводникът е в непосредствен контакт със среда, която има по-голяма топлинна проводимост, отколкото въздуха. Освен това проводникът на глазираните съпротивления се предпазва от окисляване. Поради тези два фактора глазираните съпротивления могат да работят при температури, които превишават с 250 до  $300^\circ\text{C}$  околната температура. Съпротивленията, които са пресовани в пластмаса, работят стабилно от  $120$  до  $150^\circ\text{C}$ . Повърхността на този вид съпротивления може да бъде от порядъка на  $1,5 \text{ см}^2$  на ват разсеяна мощност.

Жичното съпротивление може да се разгледа като bobина с малка индуктивност и голямо омично съпротивление, т. е. bobина с нисък качествено фактор.

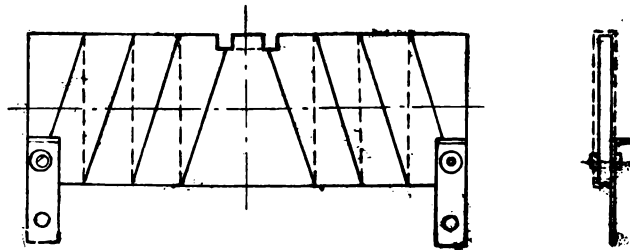
В повечето случаи тази малка самоиндуктивност на съпротивлението е без значение. В някои схеми обаче използваните жични съпротивления не бива да бъдат с каквато и да е самоиндуктивност. Поради това съпротивлението трябва да се навиват ~~само~~ по ~~специален~~ начин.

На фиг. I. 3 са показани няколко начина за навиване безиндукционни съпротивления. Фиг. I. 3 а представлява жично съпротивление, навито на плоско тяло. Съпротивлението е разделено на две части, навивките на които са в обратни посоки. По такъв начин магнитното поле, а заедно с него и индуктивността на двете секции се взаимно компенсират.

На фиг. I. 3 б е показана известната бифиларна намотка. Използва се двоен проводник, който се навива по посочения начин. Навивките в единия проводник създават магнитно поле, което е противоположно на магнитното поле, създадено от другия проводник, поради което съпротивлението се оказва безиндукционно. Трябва да се има предвид, че началото и краят на проводника, които са разположени близо един до друг, се намират под ъгъла, приложено към съпротивлението напрежение, което ограничава използването на бифиларната намотка само при работа с ниски напрежения.

На фиг. I. 3 в е представена безиндукционната еднослойна кръстата намотка. Съпротивлението се навива върху плоско тяло прорез по начина, както е показан на фигурата.

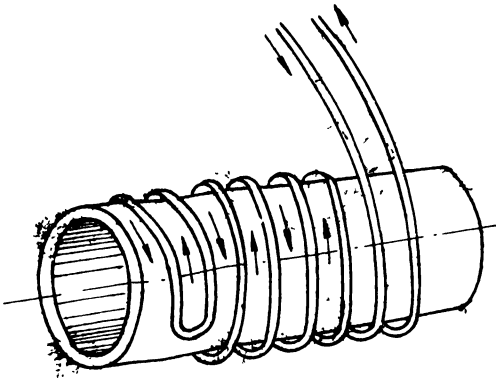
На фиг. I. 3 г е показана секционраната безиндукционна намотка. Използват се 4 секции, във всяка от които са положени еднакъв брой навивки. Навиването се извършва, както е посочено на фигурата, т.е. от ляво на дясно и от долу на горе, като горният край на проводника от всяка секция се свързва с долния такъв от следващата секция. За тази цел в преградните стени между секциите трябва да се предвидат подходящи прорези.



фиг. I. 3 а

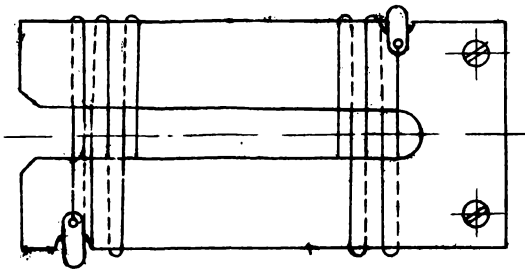
Не се препоръчва използването на изолационни тела от хигроскопичен материал, например фибър, пресилян и други, тъй като тези изолационни тела вследствие на на-

гравитационно изсъхват, размерите им намаляват и стегнатата начално навита намотка отслабва. При влажа телата увеличават размерите си, поради което проводникът се силно изопва и ако е тънък, може лесно да се скъса.

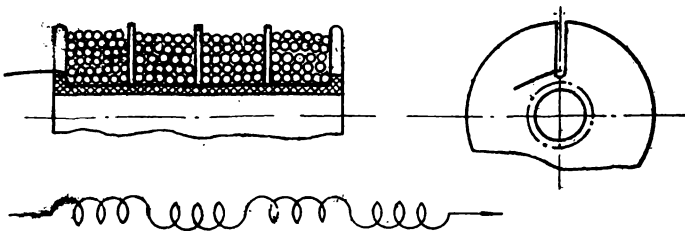


Фиг. 1.3 б

В гално тяло, което се покрива с емайл или с тънък изолационен материал, като например азбест на листа,



Фиг. 1.3 в



Фиг. 1.3 г

За съпротивления с висока работна температура се използват керамични тела с канали по повърхността, в които се навива съпротивителният проводник. Такива тела се изработват от керамика, микалекс и др. За да се подобри отделянето на топлина, може да се използва

кабелна хартия и др.

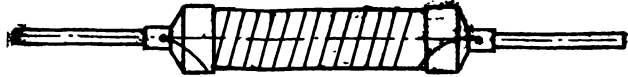
На фиг. 1.4 е показано качено съпротивление, навито на керамична основа, едмослойно и без изолация. За да се повиши устойчивостта на съпротивлението спрямо влага, то се пресова в пластмасова, например бакелит и др. При ниски напрежения, за да се получи максимално запълване на използваното

тял със съпротивителен проводник, навивките на проводника се навиват една до друга, като предварително се окисляват. За целта проводникът се прекарва в нагрят състояние през разтвор от натриев нитрат,  $NaNO_3$ .

Жично съпротивление - спирала

Жичното съпротивление най-простия си вид представлява свободно носеще се спирала с диаметър от 3 до 10 мм. Понеже жичното съпротивление е навито в рху

изолационно тяло, съпротивлението се охлажда добре от околния въздух. То се изчислява, като се взехода от следните разсъждения:



Фиг. 1. 4

Общата дължина на съпротивителния проводник с получава като произведение от броя на навивките  $w$  и дължината на една навивка  $l$ :

$$L = w \cdot l$$

Както се вижда от фиг. 1.5, между означените размерна спиралата съществуват следните съотношения:

Стъпката  $g$  се определя от диаметъра на спиралата  $D$  и ъгъла на навиването:

$$g = \pi D \operatorname{tg} \alpha .$$

Дължината на една навивка е

$$l = \frac{\pi D}{\cos \alpha} = \frac{g}{\sin \alpha}$$

Освен това

$$a + d = g \cos \alpha = \pi D \sin \alpha .$$

Означен: върху спиралата мощност следва да

$$p = I^2 R = I^2 \rho \frac{lw}{g} ,$$

където  $R$  е съпротивлението на спиралата;

$I$  - ефективната стойност на токът;

$\rho$  - специфичното съпротивление;

$q = \frac{\pi d^2}{4}$  - сечението на съпротивителния проводник.

За охлаждането трябва да се вземе предвид повърхността на спиралата:

$$S = w l \pi d$$

Отделената топлина се определя от

$$S \alpha \tau,$$

където  $\alpha$  е коефициент, който характеризира способността на спиралата да отдава топлина и зависи както от нейната конструкция, така и от условията на охлаждането.

$\tau$  е температурната разлика между температурата на околния въздух и температурата на повърхността на спиралата.

При продължителна работа трябва да съществува топлинно равновесие, т.е.

$$I^2 R = S \alpha \tau, \quad \text{I. 46}$$

или

$$I^2 \rho \frac{l_1 w \cdot 4}{\pi \cdot d^2} = \pi \cdot d l_1 w \cdot \alpha \tau \quad \text{I. 47}$$

Оттук следва уравнението за тока през спиралата

$$I = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot d^3 \cdot \alpha \cdot \tau}{4 \rho}}, \quad \text{I. 48}$$

или за диаметъра на спиралата

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot I^2 \cdot \rho}{\pi^2 \alpha \tau}}. \quad \text{I. 49}$$

За спирали с естествено въздушно охлаждане се приема

$$\alpha = 10^{-3} \frac{6 m}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C}} \quad \text{I. 50}$$



Таблица III

Диаметър на спиралата	Стъпка на навивките
6 мм	10 ÷ 15 мм
12 мм	1,5 навивка на см
18 мм	2 навивки на см
30 мм	2 x диаметъра на проводника

На таблица III са дадени най-често употребяваните размери на съпротивителните спирали.

В горните формули всички размери трябва да се въведат в см, а специфичното съпротивление - в мм/см.

Диаметърът на спиралата се избира обикновено

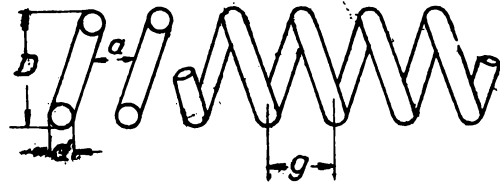
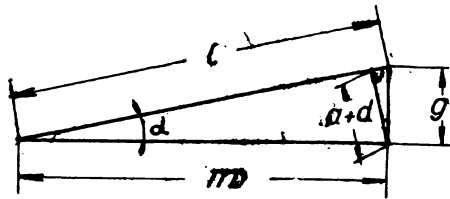
$$D = (6 \div 10) d \quad \text{I. 51}$$

В отделни таблици са дадени както специфичното съпротивление, така и другите характерни качества на най-често употребяваните съпротивителни проводници: константан, манганин, никром, ретан, кантал и никелин.

Пример. Да се изчисли съпротивителната спирали 2,5 ом за ток 15 а при продължително натоварване. Да се използва константан с данни

$$\rho = 0,5 \frac{\text{ом мм}^2}{\text{м}} = 0,5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{ом см}}{\text{мм}^2}$$

Решение  $\alpha$  се приема  $10^{-3} \frac{\text{в м}}{\text{см}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$ . Допустимото нагряване на спиралата да не бъде повече от  $150^\circ\text{C}$  над околната температура, т.е.  $t = 150^\circ\text{C}$ .



Фиг. I. 5

1. Диаметърът на спиралата

$$d = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot I^2 \rho}{\pi^2 \alpha \tau}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 225 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 150}};$$

$$d = 0,31 \text{ cm} = 3,1 \text{ mm}$$

2. От таблицата за константан се избира най-близкият стандартен размер  $d = 3,0 \text{ mm}$  и се проверява нагреването

$$\tau = \frac{4 I^2 \rho}{\pi^2 \alpha d^2} = \frac{4 \cdot 225 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4}}{10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,30^2} = \frac{0,045}{0,027} \cdot 10^2;$$

$$\tau = 167^\circ \text{C}$$

3. Избира се

$$D = 10 d = 10 \cdot 3 = 30 \text{ mm};$$

$$h = 2d = 6 \text{ mm} \quad \pi D = 94 \text{ mm};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{\pi D} = \frac{6}{94} = 0,064,$$

ТОГАВА

$$\alpha = 3,8^\circ;$$

$$\cos \alpha = 0,997$$

Оттук

$$l_1 = \frac{\pi D}{\cos \alpha} = \frac{94}{0,997};$$

$$l_1 = 94,5 \text{ mm} = 9,45 \text{ cm}$$

4. Съпротивлението на една навивка

$$R_1 = \rho \frac{l_1}{q} = 0,5 \cdot 10^{-4} \frac{9,45}{\pi \cdot 0,3^2} \cdot 4;$$

$$R_1 = 67 \cdot 10^{-4} \text{ } \Omega$$

5. Броят на навивките е

$$w = \frac{R}{R_1} = \frac{2,5}{67} \cdot 10^4 = 374 \text{ навивки.}$$

6. Дължината на спиралата е

$$l = w \cdot h = 374 \cdot 6 = 2240 \text{ мм} = 2,24 \text{ м}$$

Поради значителната ѝ дължина спиралата може да се изпълни в 6 спирали по 37,4 см, които да се свързват посредством 6-стъпален комутатор.

### Жично съпротивление, навито върху изолационна тръба

Тук съпротивителният проводник се навива върху изолационна, обикновено керамична тръба или върху желязна тръба, която е покрита с емайл. За да се изолационизират и други тела, те трябва да отговарят на две условия да бъдат електрически изолатори и да са топлиннорустойчиви. Последното изискване е достатъчно, като се има предвид, че подобни съпротивления се измеряват така, че средната им температура да не превишава  $200^\circ\text{C}$ .

Обикновено се използва оксидиран съпротивителен проводник, за да не се получи късо съединение между навивките, които опират една до друга. Когато работната температура на съпротивлението не превишава  $70^\circ\text{C}$ , може да се използва проводник с лакова, памучна или копринена изолация. При по-високи работни температури проводникът се деформира вследствие удължаване. За да не се получи късо съединение между съседни навивки при гол, неоксидиран проводник, навит със стъпка, по-голяма от диаметъра му, съпротивлението се покрива с глифталов лак.

Този вид съпротивления имат значително по-неблагоприятни условия за охлаждане, поради което методът за тяхното изчисляване се отличава от този на самоносещото се съпротивление, което е навито във вид на спирала.

Методът на изчислението се отнася и за жични реостати. Реостатът представлява жично съпротивление, което е навито върху тръба или табло, по тялото има контакти, които са свързани с върху навивките. Този на-

чин се постига плавна промяна на съпротивлението или плавно регулиране на тока, в чиято верига е включен реостатът. Последният може да се използва и като регулатор на напрежение. В такъв случай токовият източник се включва между двата края на реостата, а плавно регулираното напрежение се взема между единия край на реостата и плъзгача му. Реостатите се използват за слаби токове и допустимото им натоварване зависи както от сечението на използвания проводник, така и от конструкцията на плъзгачия се контакт.

За реостатите важи посоченото по-долу уравнение, което представлява отношение между разсеяната електрическа мощност и охлаждащата повърхност на реостата.

$$\frac{P}{S} \cong (0,35 \div 0,2) \frac{\delta m}{\text{cm}^2} \quad \text{I. 52}$$

При двойни реостати този коефициент трябва да се намали с 20 до 30 %, а при реостати, които са монтирани в желязна кутия, с 15 до 20 %. Ако реостатът е монтиран вертикално, съществуват по-добри условия за охлаждане, поради което отношението  $\frac{P}{S}$  може да се увеличи с 20 до 25 %.

Поетата от реостата електрическа мощност във ватове е

$$P = I^2 R = I^2 \rho \frac{l}{q} \quad \text{I. 53}$$

където  $l$  е дължината на проводника в метри;  
 $\rho$  - специфичното съпротивление в  $\text{ohm mm}^2/\text{m}$ ;  
 $q$  - сечението в  $\text{mm}^2$ ;  
 $R$  - съпротивлението в оме;  
 $I$  - токът, който протича през реостата, в амperi.

Дължината на една навивка е

$$l_i = \pi (D + d) \quad \text{I. 54}$$

където  $D$  е външният диаметър на тръбата.

Уравнение I. 53 може да се напише и в следния вид:

$$P = I^2 \rho \frac{l}{q} = I^2 \rho \frac{\omega \cdot \pi (D + d)}{\pi d^2} \quad \text{I. 55}$$

4

$$P = 4 I^2 \rho \frac{B^{[mm]} (D^{[m]} + d)^4}{d_{[mm]}^3}, \quad \text{I.56}$$

където  $B = \pi d$  е общата дължина на намотката, състояща се от всички навивки, наредени една до друга. Обикновено  $d \ll D$  и може да се пренебрегне, поради което

$$P = 4 \rho B^{[mm]} D^{[m]} \frac{I^2}{d_{[mm]}^3}, \quad \text{I.57}$$

или

$$\frac{I^2}{d^3} = \frac{P}{4 \cdot \rho \cdot B \cdot D} \quad \text{I.58}$$

Тук  $P$  е във ватове,  $B$ ,  $d$  в мм,  $D$  в метри.  $\rho$  в  $\frac{\text{ом мм}^2}{\text{м}}$ , в амperi.

Отношението  $I^2/d^3$  в  $\text{амп}^2/\text{мм}^3$  се нарича коэффициент на натоварването на проводника. То се отбелязва с  $K$ .

За различни видове реостати коэффициентът  $K$  има различни стойности. Те варират между 3 и 8,5.

Оразмеряването на реостата се извършва в следния ред:

Диаметърът на проводника се намира от

$$\frac{P}{S} = I^2 \frac{4 \rho B^{[mm]} D^{[m]}}{d^3} \cdot \frac{1}{\pi D_{[cm]} B_{[cm]}}, \quad \text{I.59}$$

или

$$\frac{P}{S} = \frac{0,4}{\pi} \cdot \frac{I^2 \cdot \rho}{d^3} \leq 0,2 + 0,35 = 0,28, \quad \text{I.60}$$

където  $d$  е в мм,  $I$  в амperi,  $\rho$  в  $\text{ом мм}^2/\text{м}$ .  
Тогав

$$d = \sqrt[3]{\frac{0,4 \cdot I^2 \cdot \rho}{\pi \cdot 0,28}} = 0,78 \sqrt[3]{I^2 \rho} \quad \text{I.6}$$

Конструкция на радиопаратурите

Тъй като

$$\frac{I^2}{d^3} = \frac{P}{4\rho B.D} \quad \text{и} \quad \frac{P}{I^2} = R \quad \text{I. 62}$$

то

$$R = \frac{4\rho B.D}{d^3} \quad \text{I. 63}$$

Тук  $B$  е в мм,  $D$  в метри,  $d$  в мм.  
Оттук при дадено  $R$  се намира произведението дължина на намотката  $\times$  диаметър на тръбата:

$$B^{[мм]} \cdot D^{[м]} = \frac{R d^3_{[мм]}}{4\rho}; \quad \text{I. 64}$$

$$B_{[см]} \cdot D_{[см]} = \frac{10}{4} \cdot \frac{R d^3_{[мм]}}{\rho} \quad \text{I. 65}$$

Изоляционното тяло се подбира така, че

$$D/B = (0,2 \div 0,5) \quad \text{I. 66}$$

Пример. Да се проектира реостат за отоплителната верига на лампата ГУ - 80 с

$$U_f = 12,6 \text{ в} \quad I_f = 11 \text{ а}$$

Захранването се осъществява от постояннотоков източник с напрежение  $U = 20$  волта. При това нека реостатът да поеме излишъка от напрежение, за да може да регулира отоплителния ток до 20 % от номиналната му стойност. За съпротивителен материал да се използва никелинов проводник, а за основа - керамична тръба.

Решение. От  $U$ ,  $U_f$  и  $I_f$  се намира съпротивлението на реостата, което трябва да поеме излишъка от напрежението, т.е. онова съпротивление, което ще бъде постоянно включено в отоплителната верига:

$$R = \frac{U - U_f}{I_f} = \frac{20 - 12,6}{11} = 0,672 \text{ ом}$$

2. Намаляване на  $I_f$  с 20 % значи отоплителния ток да спадне от 11 на 8,8 ампера. При тази стойност

на отоплителния ток трябва да се намери съпротивлението на волфрамовата отоплителна жичка.

3. Използва се таблица I. В последните ѝ две графи са дадени:  $I_f$ , - отоплителният ток на единица волфрамов катод, и  $U_f$ , - отоплителното напрежение за същия катод в зависимост от катодната температура.

За температура  $2650^\circ K$  :

$$I_f = 1685 \text{ а/см}^{3/2} ;$$

$$U_f = 170,4 \cdot 10^{-3} \text{ в/см}^2$$

4. Отоплителната жичка на лампата ГУ-80 има следните данни:

$$d = 0,5 \text{ мм} \quad l = 30 \text{ см}$$

При намален отоплителен ток  $I_f' = 8,8 \text{ а/}$  имаме:

$$I_f' = I_f \left( \frac{d_1}{d} \right)^{3/2} = 8,8 \left( \frac{10}{0,5} \right)^{3/2} = 790 \text{ а}$$

Следователно

$I_f' = 790 \text{ а}$  е намаденият отоплителен ток за единица катод. Според таблица I на  $I_f' = 790 \text{ а}$  отговаря

$$U_f' = 47,8 \cdot 10^{-3} \text{ в} \text{ и температура } 1770^\circ K;$$

тогава

$$U_f = U_f' \frac{l}{d^{1/2}} = 47,8 \cdot 10^{-3} \frac{30}{0,05^{1/2}} = 6,3 \text{ в}$$

5. Следователно напрежението, което трябва да поеме реостатът, за да спадне отоплителният ток на лампата с 20 %, ще бъде

$$U - U_f' = 20 - 6,3 = 13,7 \text{ в} \text{ при ток } I_f' = 8,8 \text{ а},$$

а максималното съпротивление на реостата е

$$R_{\text{макс}} = \frac{U - U_f'}{I_f'} = \frac{13,7}{8,8} = 1,56 \text{ ом}$$

6. По този начин данните за реостата са:

$$R_{\text{макс}} = 1,56 \text{ ом} \quad R_{\text{мин}} = 0,672 \text{ ом};$$

$$I_{\text{мин}} = 8,8 \text{ а}; \quad I_{\text{макс}} = 11 \text{ а}$$

7. Диаметърът на проводника се получава при  $\rho = 0,4 \text{ ом мм}^2/\text{м}$  и  $I = I_{\text{сред}} = \frac{1}{2} (I_{\text{макс}} + I_{\text{мин}}) = 10 \text{ а};$

$$d = 0,78 \sqrt[3]{I^2 \cdot \rho} = 0,78 \sqrt[3]{10^2 \cdot 0,4} = 2,66 \approx 2,7 \text{ мм}$$

8. Приемаме

$$\frac{D}{B} = 0,3$$

тогава

$$BD = \frac{10}{4} R_{\text{макс}} \frac{d^3}{\rho} = 2,5 \cdot 1,56 \cdot \frac{2,7^3}{0,4} = 191$$

Намираме

$$B \cdot D \cdot \frac{D}{B} = D^2 = 191 \cdot 0,3 = 57,2;$$

$$D \approx 7,6 \text{ см}; \quad B \approx 25 \text{ см}$$

9. Броят на навивките

$$w = \frac{B}{d} = \frac{250}{2,7} \approx 92,5 \approx 93$$

10. Пълната дължина на проводника

$$L = w \cdot \pi D_1 = 93 \pi (7,6 + 0,27);$$

$$L = 2300 \text{ см} = 23 \text{ метра}$$

Пример. Да се изчисли симетриращото съпротивление  $R_c$  за лампата Г - 431 с данни

$$U_f = 22 \text{ в}; \quad I_f = 102 \text{ а}; \quad I_o = 4 \text{ а} \dots$$



Решение. Избира се  $R_c = 30$  ом, тогава токът през него ще бъде

$$I_c = \frac{U_f}{R_c} = \frac{22}{30} = 0,74 \text{ а};$$

$$I_{\frac{1}{2}} = 2 \text{ а} \quad I = \sqrt{I_c^2 + \left(\frac{I_0}{2}\right)^2} = \sqrt{0,74^2 + 4} = 2,14 \text{ а}$$

2. Използва се никелин. Диаметърът на проводника се получава от

$$d = 0,78 \sqrt{I^2 \rho} = 0,78 \sqrt{2,14^2 \cdot 0,4} \cong 0,78 \text{ мм}$$

3. Произведението

$$B \cdot D = 2,5 \frac{R d^2}{\rho} = 2,5 \frac{30 \cdot 0,78^2}{0,4};$$

$$B \cdot D = 88;$$

Приемаме

$$D/B = 0,3;$$

тогава

$$D^2 = 88 \cdot 0,3 = 26,4$$

$$D \cong 5,15 \text{ см};$$

$$B = \frac{5,15}{0,3} \cong 17 \text{ см}.$$

#### Д. Променливи жични съпротивления

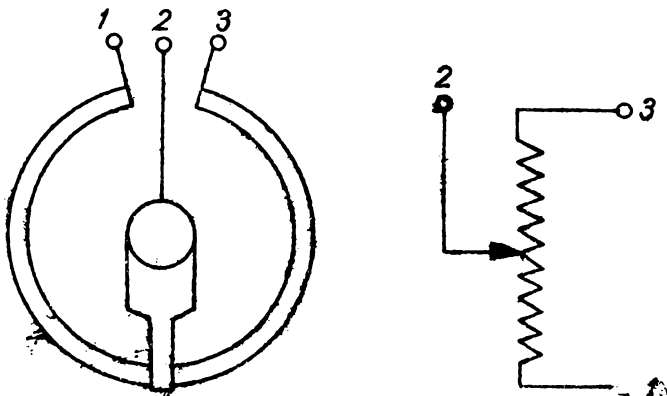
От конструктивно гледище променливите жични съпротивления се разделят на два основни типа:

1. Съпротивления, които са навити върху цилиндрична основа и при които плъзгащият се контакт извършва праволинейно постъпателно движение по осовата линия на цилиндъра, като последователно контактува с навивките.

2. Съпротивления, които са навити върху кръгла основа или върху плоска такава, която след навиването на съпротивлението се огъва и получава кръгла форма. Тук подвижният контакт извършва въртеливо движение, като описва определен ъгъл, и по този начин контактува последователно с отделните навивки на съпротивлението.

Използването на единия или другия вид променливо съпротивление зависи от конкретните условия, при които то работи в дадена апаратура. В електрическо отношение двете конструкции са напълно равностойни. Предимството на ротационното променливо съпротивление се състои в това, че е по-компактно.

Променливото съпротивление се използва за регулиране на тока в дадена електрическа верига или за регулиране на напрежението /делител на напрежението/. В първия случай се използват точките 1 и 2 /Фиг. 1.6/, а във втория - между точките 1 и 3 се включва пълното напрежение, докато между 1 и 2 се включва то



Фиг. 1. 6

варното съпротивление.

Променливите жични съпротивления се про

извеждат с максимални стойности до няколко хиляди ома, в редки случаи до няколко десетки хиляди ома.

Изчислението им се извършва по начина на постоянните жични съпротивления. Не трябва да се забравя, че при  $\alpha = 0$ , което отговаря на минимално съпротивление,

от значение е преходното съпротивление на плъзгача, което е от порядъка на няколко десети от ома, а при добри конструкции - няколко стотни от ома. В случаите, когато е желателно минималното съпротивление да има определена стойност поставя се ограничител, който не позволява да се намали съпротивлението под зададената стойност.

Полезният ъгъл на завъртането е от порядъка на 270 до 300°. За да не се получи превъртане, крайните положения на плъзгача се фиксират с ограничители. При нормално изпълнение съпротивлението нарастването на  $R$  от  $R_{мин}$  до  $R_{макс}$  е пропорционално на ъгъла  $\alpha$ . В случаите, когато искаме изменението на съпротивлението да стане по друг закон, прилагаме следните два метода: 1/ съпротивителният проводник при неизменна дължина на навивката се навива с различна стъпка и 2/ съпротивителният проводник се навива при неизменна стъпка с различна дължина на навивката.

Стъпката може да се изменя в сравнително малки граници /от 2 до 3 пъти/ и да се реализира при навиване на съпротивлението на струг посредством изменение хода на супорта. Дължината на навивката може да се изменя в значително по-големи граници и да се реализира тогава, когато на изслационното тяло се даде специална форма.

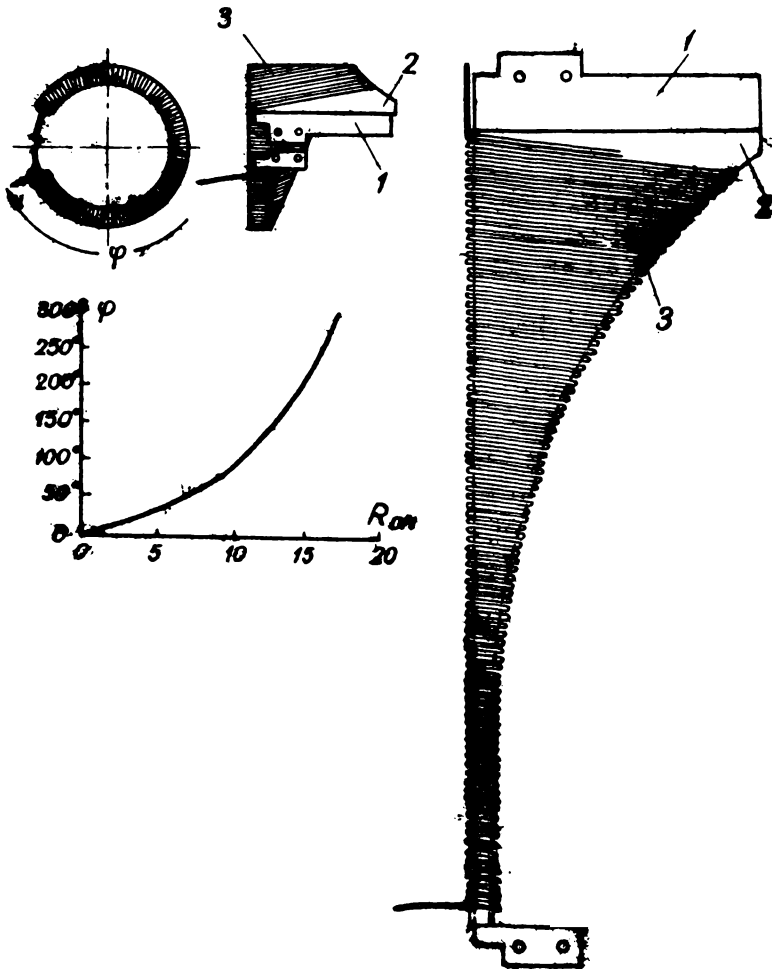
На фиг. 1.7 е даден пример за такава намотка. На същата фигура е изобразено графически изменението на съпротивлението от ъгъла на завъртането. Тялото, върху което се навива съпротивителният проводник, представлява пертинековска плочка със специална форма, която след навиването на проводника се свива в кръгла форма.

Строго погледнато, нарастването на съпротивлението не става плавно, както е показано на графиката на фиг. 1.7, а стъпалообразно. Това се дължи на обстоятелството, че подвижният контакт не се плъзга по целия проводник, а преминава от една навивка към друга. При линейно преместване, което е равно или по-малко от стъпката на намотката, включеното съпротивление не се изменя. Едва когато линейното преместване стане по-голямо от стъпката, съпротивлението се увеличава стъпално с  $\Delta R$ , което е равно на съпротивлението на една навивка /фиг. 1.8а/

Нарастването на съпротивлението  $\Delta R$  зависи от броя на навивките  $w$ . Еднаквата дължина на навивките изразяваме чрез уравнението

$$\Delta R = \frac{R_{макс}}{w},$$

което следва, че колкото е по-голям броят на навивките при дадено максимално съпротивление, толкова по-



Фиг. I. 7

малък  $\Delta R$  ще бъде трираствътен  $\Delta K$ , т.е. толкова по-плавно ще се изменя съпротивлението. Плавноста на изменението може да се характеризира чрез отношението на дължината на една навивка към общата дължина на използвания проводник. Това представлява коефициентът на плавното изменение, който се изразява със следното уравнение:

$$e = \frac{l}{L} = \frac{1}{w}$$

I.68

Ако съпротивлението има променлива дължина на навивките,  $\Delta R$  ще има също различни стойности. Това се вижда от фиг. I.8б, където за малки ъгли  $\alpha$  дължината на навивката е също малка и расте с ъгъла  $\alpha$ . На фиг. I.8в е представено съпротивление с различна стъпка, където стойността  $\Delta R$  е неизменна, а стъпката намалява с увеличаване на ъгъла  $\alpha$ .

Плавността на изменението на съпротивлението зависи до голяма степен както от конструкцията на подвижния контакт, така и от качеството на намотката.

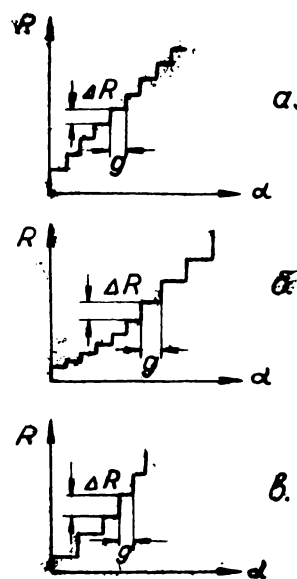
На фиг. I. 9 е показана увеличената намотка на съпротивлението в разрез. Както се вижда от фигурата, навивките на съпротивлението не са разположени на едно ниво било поради недостатъчно гладката повърхност на тялото, било поради неравномерното стягане на съпротивителния проводник при навиването. В такъв случай от голямо значение е отношението на размера на контакта към диаметъра на проводника.

На фиг. I. 9 са показани два случая, когато:

1. Работната ширина на контакта  $\delta$  е равна на диаметъра на проводника, т.е. на стъпката, /фиг. I. 9 а/. Контактът опира върху дванадесетата навивка. Ако контактът се измести от положение  $A$  към положение  $B$  или  $C$ , включеното съпротивление няма да се измени. Едва когато контактът се измести в положение  $D$ , ще се включи навивка тринадесет. Навивка дванадесет ще се добави

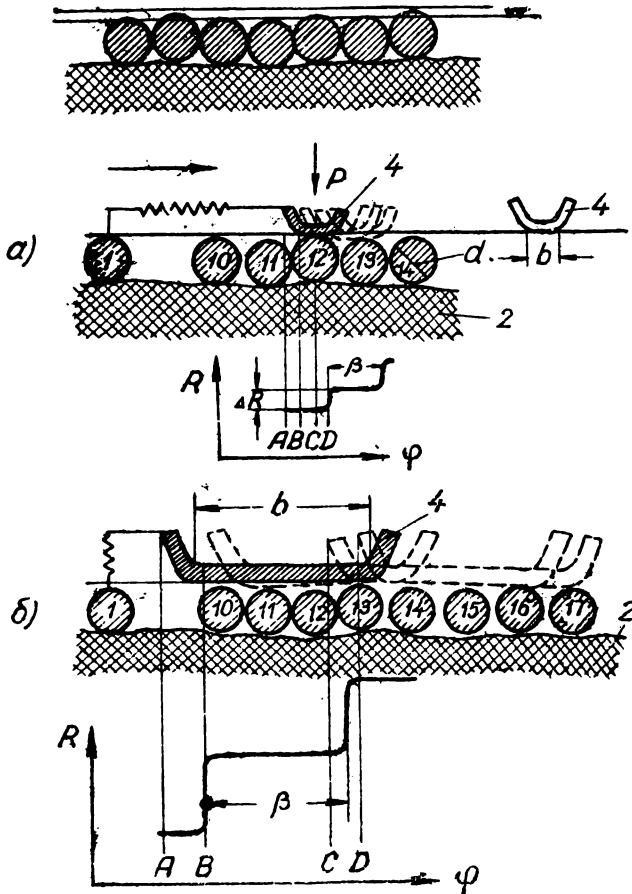
към включеното съпротивление, което по този начин ще нарасне със съпротивлението на навивка дванадесет. Ходът на изменението на съпротивлението е показан в графиката под фигурата. Този случай се среща само при променливи съпротивления с диаметър на проводника над 1 мм.

2. При съпротивления с по-малък диаметър на проводника ширината на контакта е няколко пъти по-голяма от диаметъра на проводника. Според даденото във фиг. I. 9 б положение контактът опира първоначално само върху навивка 10, тъй като навивките 11 и 12 са разположени по-ниско. При изместване надясно се създава контакт направо с навивка 13, който се поддържа, докато плъзгачът опре върху навивка 18. През цялото време съпротивлението на навивките 10, 11 и 12 е включено към общото съпротивление. Оттук личи, че благодарение на неравномерното контактуване промяната в съпротивлението е значително по-груба. Това се вижда и от графиката на фиг. I. 9 б.



Фиг. I. 8

За да се получи плавна промяна на съпротивлението, повърхността на навивките, по която се плъзга контактът, се шлифова. Шлифването трябва да се извърши много внимателно, особено ако намотката е от тънък проводник, понеже отделни навивки, които са разположени над



Фиг. I. 9

средното ниво, могат да се изтънят значително. На тези места ще се получи значителна токова гъстота, вследствие на което и проводникът ще се нагрее силно. Ето защо за препоръчване е да се обръща голямо внимание на подготовката на тялото за съпротивлението. Тялото трябва да се шлифова и полира така, че да се получи гладка повърхност.

Преходното съпротивление между контакта и навивките трябва да бъде по възможност малко и еднакво във всички точки на съпротивлението. Това се постига чрез добра обработка на повърхността на съпротивлението и на плъзгащия се контакт. В изобразеното на Фиг. I.10 жично съпротивление преходното съпротивление се получава като сбор от три съставки:  $PK_1$  - преходен контакт между съпротивителния проводник и плъзгача,  $PK_2$  - преходен контакт между

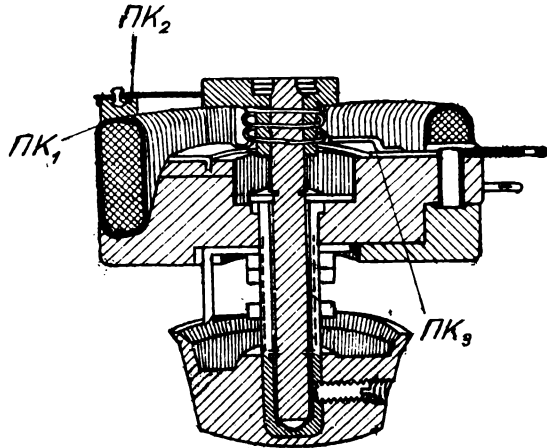
Преходното съпроти-

пружината и контактния елемент, и  $ПК_3$  - преходен контакт между пружината и неподвижния изведен контакт.

Допустимото натоварване на променливото съпротивление е по-малко, отколкото това на постоянните такива. Препоръчва се плътността на тока да не превишава 1 до 1,5  $\alpha/\text{мм}^2$ . Охлаждащата повърхност да бъде 15 до 20  $\text{см}^2$  за 1 ват разсеяна мощност.

Най-добри резултати по отношение на устойчивост против окисляване при повишена температура се получават с проводник от константан. Подвижният контакт се изработва от материал, който е устойчив на корозия. За тази цел се взема обикновено константан, нихром или въглен. Може да се използва и бронз, месинг или нойзилбер /алпака/ при по-малки плътности на тока в контакта /не повече от 0,4  $\alpha/\text{мм}^2$ / и при контактното налягане от порядъка на 20 до 30  $\text{г}/\text{мм}^2$ .

Понеже при движението на плъзгащия се контакт навивките на съпротивлението се натоварват механически, затова те трябва да бъдат добре закрепени към тялото на съпротивлението. Но доброто стягане при навиването не винаги е достатъчно, затова е необходимо те да се закрепят допълнително особено когато се отнася за проводник с диаметър под 1 мм. За тази цел се използват например бакелитов лак, емайл лак с титанов двуокис и др., с които се намазва жичното съпротивление и по такъв начин се увеличава механичната стабилност на навивките. Едновременно с това се подобряват и условията за охлаждането на съпротивлението.



Фиг. 1. 10

## Е. Постоянни силитни съпротивления

Силитните съпротивления се получават, като на повърхността на изолационни /керамични/ тръбички се нанесе тънък пласт от проводящ материал, обикновено въглерод. Те се отличават със своята компактност, технологичната си простота и пригодност за масово производство и имат малки и независими от съпротивителната си стойност размери. Силитните съпротивления имат съпротивителни стойности от десетки омега до хиляди мегаомега при еднакви външни размери.

Технологията на силитните съпротивления се състои в следните основни процеси:

- а/ подготовка на керамичните тела;
- б/ нанасяне на въглероден пласт върху подготвеното керамично тяло;
- в/ контактуване;
- г/ изравняване на съпротивлението по стойност;
- д/ покриване на повърхността със защитен емайл лак и
- е/ техническа контрола и маркиране.

Керамичните тръбички се преглеждат внимателно, като тези, които имат дефектна повърхност, се отстраняват. След прегледа те се почистват механически и се потапят в двупроцентов разтвор от флуороводородна киселина. По такъв начин тръбичките се почистват химически. Самото почистване става във вана, която се напълва с двупроцентов разтвор от флуороводородна киселина. Във ваната се върти барабан от листов текстолит, който е запълнен 50 % с керамични тръбички. Стените на барабана имат множество малки отвори, през които навлиза химическият разтвор, и по такъв начин се промиват керамичните тръбички. Почистването продължава от 15 до 20 минути. След това тръбичките се промиват в същата вана със студена вода от  $15^{\circ}\text{C}$  и с гореща вода от  $80$  до  $90^{\circ}\text{C}$ . Това промиване се повтаря най-малко два пъти при въртящ се барабан.

За да се изпеди водата от тръбичките, те се поставят в центрофуга, която има барабан с диаметър 700 мм и се върти с 600 до 800 оборота/мин. Тук тръбичките се обработват около 20 минути, след което те се смятат за напълно сухи. За изсушаването им не трябва да се използва топъл въздух, защото в противен случай на повърхността ще останат соли, които ще затруднят нанасянето на въглерода.

Тръбичките за съпротивления с 1500 и повече омега се почистват със струя кварцов пясък, който трябва да



бъде достатъчно ситен, за да може да мине през сито със 144 отвора на  $cm^2$ . Почистването на тръбичките се извършва в дървен барабан в продължение на 5 - 6 часа. След това тръбичките се промиват със студена, гореща и дестилирана вода и се изсушават в центрофуга. Опитно е установено, че тук краткото промиване в разтвор от флуороводородна киселина 0,25 % оказва благотворно влияние върху повърхността на тръбичките.

Пригответените по този начин тръбички се въвеждат във вакуумна пещ, където става манасянето на въглеродния пласт.

Както се вижда от фиг. 1. 11, пещта се състои от керамична тръба 1 с дължина около 2 метра и вътрешен диаметър 70 до 100 мм, която в средната си част е обгърната от електрически нагревател 2. От двете страни на нагревателя са поставени медни тръби 3 за водно охлаждане на пещта. Последното е необходимо, за да се поддържа високият вакуум в пещта. За същата цел в тръбата са поставени топлинни изолатори 4, които не пропускат проникването на топлината до двете дъна на керамичната тръба. Работното пространство на пещта по такъв начин се ограничава при обща дължина 2 метра на приблизително 0,9 метра.

Пещта е свързана посредством стъклени тръби уред за измерване на вакуума 5 и с капиллярна тръба 6, която регулира интензивността на изпарението на течния бензол, който е поместен в тръбата 7. Към пещта е свързана и вакуумната помпа 8.

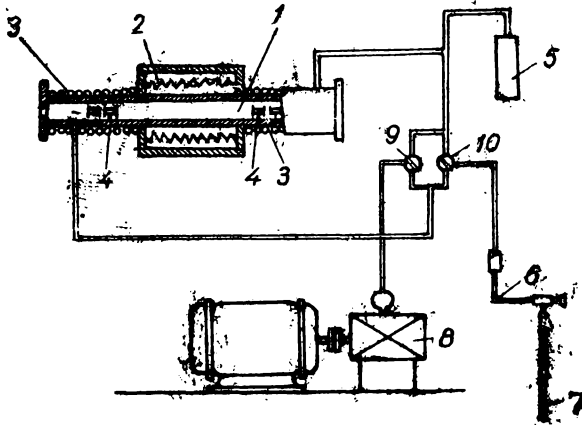
Двата крапа 9, 10 позволяват да се извърши подаването на бензолните пари откъм двете страни на пещта, като изпомпването на въздуха и газа става едновременно и винаги от противоположната страна. От фигурата се вижда, че вакуумната помпа е свързана към лявата страна на пещта, а парите постъпват откъм десната страна. При превключване на крановете става обратното.

След зареждането на пещта с керамичните тръбички тя се затваря херметически и въздухът се изпомпва до налягане 0,05 мм живачен стълб. В зависимост от съпротивлението пещта се нагрива до 900 - 1000 °C. Вакуумът се проверява с уреда 5.

Поради създадения вакуум, пом се отвори кранът 10, бензолът /или хептанът/ се изпарява и парите му проникват в пещта, като увеличават налягането до 0,05 мм живачен стълб. Интензивността на изпарението на хептана зависи от дължината и диаметъра на капиллярната тръба 6. Колкото е по-голямо съпротивлението на нанесения върх керамичните тръбички пласт, толкова по-малко ще бъде количеството хептан, което

трябва да постъпи в пещта за единица време, и толкова по-малък ще бъде диаметърът на капилярната тръба. В зависимост от продължителността на този процес и от количеството на изпарения хептан могат да се получат съпротивления от няколко до 100000 ома. Практически се използват съпротивления от 5 до 20000 ома.

След завършване на този процес нагревателят се изключва и пещта се охлажда около 4 часа при непре-



Фиг. I. 11

късната работа на вакуумната помпа. През следващите два часа налягането в пещта постепенно се покачва чрез вкарване на въздух, докато стигне атмосферното налягане. Обработените тръбички се проверяват, сортират се по размери и запазват в картонени кутии.

Следващият процес е контактува-

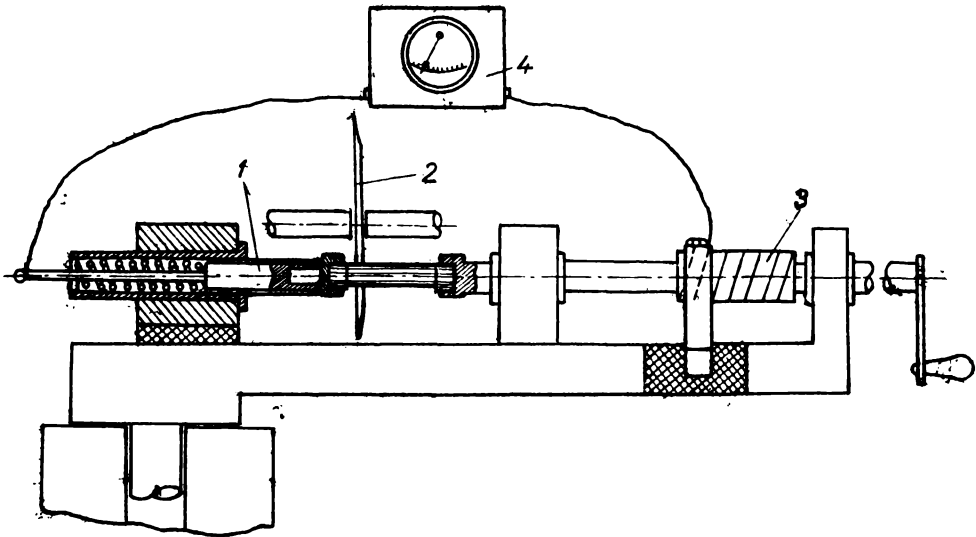
нето. За тази цел на двата края на тръбичката се нанася графитна паста, която се изсушава от струя топъл въздух. Изводните краища се приготвят от калайдисан меден проводник, единият край на които се навива във вид на спирала с диаметър, равен на този на керамичната тръбичка. Краищата се надяват върху тръбичките ръчно или с помощта на ръчни преси. След това съпротивленията се измерват и се сортират по групи в зависимост от съпротивителната им стойност.

Сортираните съпротивления постъпват за нарязване. Тази операция има за цел да увеличи съпротивителната им стойност, като увеличи дължината и намали сечението на съпротивителния слой. С оглед на желаната съпротивителна стойност се избира и подходяща стъпка на нарязването.

Различаваме два вида нарязване: спирално, което придава индуктивни свойства на съпротивлението, и безиндуктивно нарязване.

Спиралното нарязване се изпълнява със стъпка от 0,7 до 20 мм. За целта се използва специално устройство, чиято типова схема е дадена на фиг. I.12. Това специално устройство се състои от приспособление /

тройство за линейно придвижване на съпротивлението и за подбор на стъпката 3, както и измерителен уред 4 за непрекъснато измерване на съпротивлението през време на нарязването му. Шмиргелът се привежда във



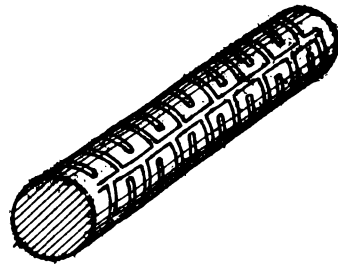
Фиг. I. 12

въртящо движение от електромотор и нарязва повърхността на керамичната тръбичка. През време на нарязването посредством омметър се следи за постигане на желаната стойност на съпротивлението. В този момент шмиргелът се отдалечава от съпротивлението – операцията е приключена.

На фиг. I. 13 е показано безиндукционното нарязване, което се изпълнява на специални устройства за нарязване.

Качеството на нарязването се проверява с лупа с цел да се установи доколко нарезът е равномерен, дълбок и чисто изпълнен.

Нарязаното съпротивление се поставя под напрежение, което е няколко пъти по-високо от номиналното. По такъв начин могат да се открият дефектните места в съпротивлението, а негодните съпротивления да се бракуват. Този процес на изпитване трае до 60 секунди.



Фиг. I. 13

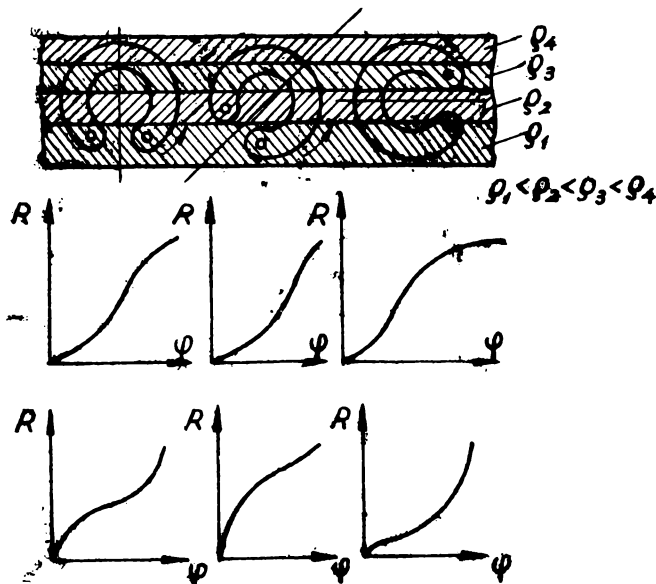
до 60 секунди.

Съпротивлението се покрива с емайл лак с цел да се запази проводящият слой от външни въздействията и съпротивлението се потапя в разтвор от емайл лак, след което се изсушава с инфрачервени лъчи. Тази операция се повтаря два пъти.

Покритото с емайл лак съпротивление се проверява по отношение на съпротивителната си стойност. Тя се мажирва върху самото съпротивление, като едновременно с това се отбелязва и процентната точност на съпротивлението. Проверяват се и шумовите качества на съпротивлението.

### Ж. Променливи силитни съпротивления

Основният конструктивен елемент на променливото силитно съпротивление е подковообразна пластинка, която се изсича от листов пертинакс с дебелина 0,8 до 1 мм. На тази пластинка е нанесен токопроводящ слой, по който се плъзга контактният елемент. Както по техническите си качества, така и по технологията си променливите силитни съпротивления се различават коренно от жичните съпротивления. Те са по-компактни, по-удобни за серийно производство и значително по-евтини, отколкото жичните такива. Те могат да се изработят със съпротивителни стойности от няколко стотни ома до няколко десетки мегаома при едни и същи външни размери. Освен това при силитните променливи съпротивления може да се реализира всяка желана крива за изменение на



Фиг. I. 14

съпротивлението в зависимост от ъгъла на завъртането. Технологията на този вид съпротивления се свежда до следното:

то жичните такива. Те могат да се изработят със съпротивителни стойности от няколко стотни ома до няколко десетки мегаома при едни и същи външни размери. Освен това при силитните променливи съпротивления може да се реализира всяка желана крива за изменение на

Насича се листов пертинако на ленти, чиято широчина е 5 мм по-голяма от диаметъра на подковообразната основа. След като лентите се нагреят предварително до  $80^{\circ}\text{C}$  те се разрязват с ножица. Върху полираната повърхност на пертинакса се нанасят няколко ивици от прснодниково вещество, както е показано на фиг. I.14. Тук са нанесени 4 вида суспензии, всяка една от които има различно специфично съпротивление. Ако линейната зависимост на съпротивлението е желателна от ъгъла на завъртането, тогава цялата повърхност на пертинаковата лента се покрива със суспензия от един състав.

Суспензията се приготвя в два основни състава. Първият състав се състои от сажди, графит, бакелитов лак и алкохол като разтворител. Тази суспензия е нискоомна. Вторият състав съдържа титанов двуокис, бариеви съединения, бакелитов лак и алкохол. Тази суспензия е високоомна. Чрез смесване на тези два основни вида в различни пропорции се получават суспензии с различни специфични съпротивления.

Нанесените върху пертинаксовата плочка ивици се застъпват. Между тях няма резки граници, а плавен преход от единия съпротивителен слой към другия. Чрез подходящ подбор на съпротивителните вещества и чрез подходяща последователност при нанасянето им върху пертинаксовата основа могат да се получат различни видове съпротивления.

След като суспензията се нанесе, изрязаните чрез данцоване подковообразни основи от пертинакса се загряват до  $50^{\circ}\text{C}$ . За хода на съпротивлението е от значение разположението на подковата спрямо нанесените върху пертинакса съпротивителни пластове. Това се вижда от фиг. I.14.

Двата края на подковообразната основа се намазват със сребърна паста, която съдържа сребро и бакелитов лак. След като сребърният пласт се възстанови по химически път, пертинаксовата основа се поставя в термостат при температура 80 до  $150^{\circ}\text{C}$ , където се осъществява полимеризацията на бакелитовата връзка. След 30 - 40 минути термостатът се охлажда до температурата на околната среда. Охлаждането се извършва постепенно със скорост  $1,5^{\circ}\text{C}$  на минута.

Съпротивлението се подлага на стареене, като се нагрива до  $90^{\circ}\text{C}$  за половин час и след това се охлажда със същата скорост. Този процес се повтаря няколко пъти.

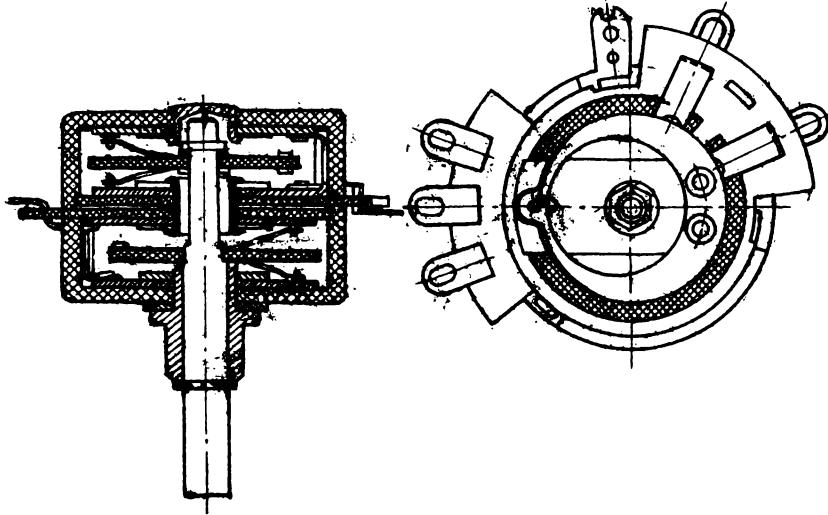
След това се извършва контрол на съпротивлението, което се измерва с постоянен ток. Съпротивления-

та се сортират и полират. Полирането обхваща проводящия слой и сребърните контакти. За целта се използва хоризонтална полиршајба, намазана със специална полирна паста. Полират се едновременно голям брой съпротивления. Чрез полирането се отстраняват всички неравномерности на токоносещия слой, който получава равна огледална повърхност. Чрез полирането може да се осъществи до известна степен и изравняване на съпротивителните стойности.

Полираните съпротивления се проверяват по отношение на минималното и максималното им съпротивление. Контролира се също и характерът на изменението на съпротивлението в зависимост от ъгъла на завъртането.

За топлинната устойчивост на променливите силитни съпротивления важат нормите за постоянните силитни съпротивления, т.е. 10 до 12  $cm^2$  охлаждаща повърхност за 1 ват разсеяна мощност. Точността на съпротивлението е около  $\pm 20\%$ .

При продължителна работа повърхността на съпротивителния материал се износва. Поради това се изменя, от една страна, ходът на кривата  $R=f(\alpha)$ , а от друга страна – максималната стойност на съпротивлението.



Фиг. 1. 15

Ето защо плъзгащият се контакт трябва да има минималното възможно налягане /от порядъка 3 до 5  $gr/mm^2$ /, при което ще може да се осъществи сигурно контактуване. От друга страна трябва да се използва контактен

материал, чиято твърдост е близка до твърдостта на съпротивителния слой. В това отношение особено добри качества имат въгленовите контакти.

Променливите силитни съпротивления се изработват с мощности от 0,5 до 1 ват. В много случаи те са не-

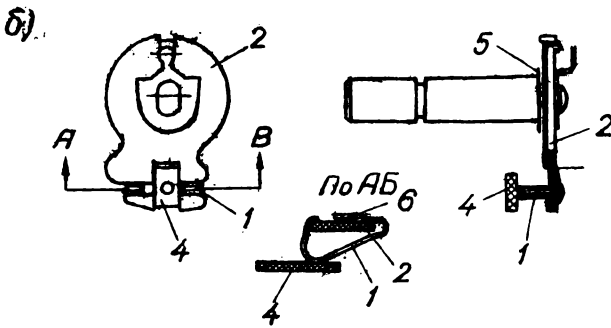
достатъчни. За да се увеличат, може да се постигне по следния начин:

1. Увеличава се повърхността на подковата и на контактния елемент. По този начин нарастват размерите на променливото съпротивление.

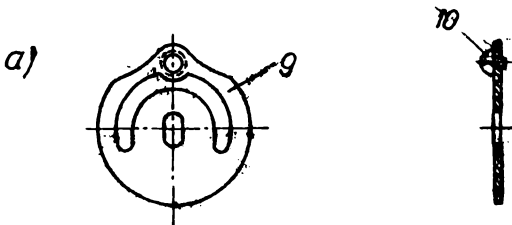
2. Увеличава се повърхността на охлаждането и повърхността на контактуването, като се използват няколко подкови в една и съща конструкция. Всяка една от тях има по-голямо съпротивление, така че като са включени паралелно, получава се желаната съпротивителна стойност. Този вид съпротивление е показано на фиг. 1.15.

3. Условията за охлаждане се подобряват, като съпротивителната пластина се монтира върху солидна метална плочка, която има висока топлинна проводимост.

Контактуващите елементи имат разнообразна конструкция. От значение е да се отбележат следните основни видове:



1. Плоска пружина от фосфорен бронз или алпака с малък отвор, в който се закрепва въгленовият контакт. Последният при движение трие върху съпротивителния слой. Пружината контактува постоянно със средното перо на променливото съпротивление /фиг.1.16а/



2. Няколко пружинки от тънък проводников материал се закрепват на изолационна плочка, из-

Фиг 1 16

вършваща въртливо движение, понеже е закрепена за оста на променливото съпротивление. Пружинките контактуват със съпротивителния слой /всяка пружинка

контактува независимо от останалите, като по този начин се осигурява стабилен контакт/. Връзката със средното перо се осъществява чрез триен контакт /фиг. I. 16 б/.

3. Контактът не влиза в съприкосновение със съпротивителния слой, а притиска към него тънка плоска пружинка. По такъв начин се избягва триенето и повърхността на съпротивителния слой се запазва.

### 3. Постоянни обемни съпротивления

Различават се два вида обемни съпротивления:

1. Обемни съпротивления от неорганичен произход. Към тях се отнасят съпротивления, изработени от силициев карбид /SiC/ във вид на тръби с различен диаметър. Те се използват най-вече в предавателни устройства като антипаразитни или баластни съпротивления /съпротивления на изкуствена антена/. В силнотоквата техника те намират приложение като нагреватели в електрически пещи. Отличават се с това, че работят при висока температура. Тяжната съпротивителна стойност е силно зависима от температурата. Тръбните съпротивления могат да се охлаждат с течаща вода. Те се изработват от предприятия, които работят огнеупорни материали.

2. Обемни съпротивления от органически произход. Те се изработват от проводниково вещество, индиферентен пълнител и свързващо вещество. Като проводников материал при тях се използва въглерод във вид на сажди и графит. Пълнителят е обикновено глина или азбест, а свързващото вещество - ермореактивни синтетични смоли.

Съпротивленията се изработват по следния начин: основните материали графит, глина и азбест се смесват и разбиват във валцова мелница, след което към тях се прибавя разтворената в етил алкохол синтетична смола. Всички съставни части се смесват и едновременно изсушават до  $40^{\circ}\text{C}$ . В резултат се получава едрозърнест прах, от който се изработват таблетки, които се сушат и пресоват при  $170^{\circ}\text{C}$ . За да се получи окончателна полимеризация на смолата, пресованите съпротивления се държат няколко часа при  $80$  до  $120^{\circ}\text{C}$ . След това се подлагат на стареене и на сортиране според тяхната съпротивителна стойност.

При еднакви външни размери съпротивителните стойности варират в широки граници в зависимост от процентното съотношение между проводниковото вещество и пълнителя.



КОНДЕНЗАТОРИ

А. Предназначение, характерни белези,  
класификация

В слаботоковата техника кондензаторите се използват за следните основни цели:

1. Като кръгови кондензатори във високочестотни трептящи кръгове на мощни и маломощни високочестотни устройства.

2. Като блокировъчни кондензатори за разделяне на постояннотокови от високочестотни вериги, както и за разделяне на нискочестотни от високочестотни вериги.

3. Като филтрови кондензатори в токоизправителни устройства.

4. Като основни елементи за получаване импулси с голяма мощност и малко времетраене.

5. Като еталонни постоянни или променливи кондензатори за измерителни уреди.

Различните области на приложение на кондензаторите са причина за голямото разнообразие на типовете кондензатори, които се използват в съвременната слаботокова техника. Те се отличават както по своя обем и размери, така и по използваните материали и конструкция. По капацитет те покриват извънредно широка гама от няколко десети от пикофарада до десетки хиляди микрофарада, а номиналното им работно напрежение достига от няколко волта до няколко десетки киловолта.

Електрическите качества, конструкцията и областта на приложение на всеки кондензатор се определят преди всичко от диелектрика, който разделя кондензаторните плочи една от друга. Ето защо целесъобразно е класификацията на кондензаторите да се извърши на базата на диелектрика. В такъв случай кондензаторите могат да се разделят на следните главни групи:

1. Кондензатори с газов диелектрик. Към тях спадат въздушните, вакуумните и напълнените с газ кондензатори.

2. Кондензатори с течен диелектрик, към които се отнасят маслените кондензатори.

3. Кондензатори с твърд неорганичен диелектрик. Към този раздел се отнасят глинните и керемичните кондензатори, както и тези със стъклен и кварцов диелектрик.

4. Кондензатори с твърд органичен диелектрик. Към тях се отнасят: кинините кондензатори, полистиролните и тези с метализирана хартия.

5. Кондензатори с твърд диелектрик, които работят в контакт с електролит. Тези кондензатори са полярни и към тях се отнасят сухите и течни електролитни кондензатори.

#### а. Зависимост на капацитета на кондензатора от температурата

При промяна на околната температура кондензаторът изменя капацитивната си стойност. Това се дължи на изменението на диелектричната константа на използвания диелектрик и на изменението на размерите на плочите на кондензатора с температурата. Разширението на кондензаторните плочи води до увеличаване на капацитета на кондензатора, докато увеличаването на дебелината на използвания диелектрик има обратния ефект.

Температурната зависимост на капацитета се характеризира от температурния коефициент на капацитета  $\alpha_c$ , който се дефинира по следния начин:

$$\alpha_c = \frac{1}{C} \cdot \frac{dC}{dt} \quad [sp^{-1}] \quad \text{II.1}$$

Ако промяната на капацитета от температурата има линеен характер, тогава температурният коефициент може да се изчисли по следната формула:

$$\alpha_c = \frac{C_2 - C_1}{C_1 (t_2 - t_1)}, \quad \text{II.2}$$

където

$C_1$  е капацитет при средна околна температура  
 $t_1 = (+15 + +25)^\circ C$  ;

$C_2$  - капацитетът при повишена или понижена температура  $t_2$ .

Обикновено  $t_2$  е най-високата или най-ниската работна температура на кондензатора.

Ако температурната зависимост на капацитета няма линеен характер, тогава използването на формула II. 2 дава някое средно значение за температурния коефициент. В такъв случай се препоръчва температурната стабилност да се характеризира с относителното изменение на капацитета при пределните стойности на работната температура

$$\Delta C = \frac{C_2 - C_1}{C_1} 100\% \quad \text{II.3}$$

Температурният коефициент на кондензатора може да се представи в първо приближение според следното уравнение:

$$\alpha_C \approx \alpha_\epsilon + 2\alpha_M - \alpha_d, \quad \text{II.4}$$

където

$\alpha_\epsilon$  е температурният коефициент на диелектричната константа и може да бъде както с положителен, така и с отрицателен знак в зависимост от диелектрика;

$\alpha_M$  - коефициент на линейното разширение на металните плочи на кондензатора;

$\alpha_d$  - коефициент на линейното разширение на диелектрика в посока, перпендикулярна спрямо плоскостта на плочите на кондензатора.

Във формула II.4 се приема, че металните плочи и диелектричът се разширяват свободно при повишаване на температурата. Ако конструкцията на кондензатора не позволява това, от формула II.4 не могат да се добият точни резултати.

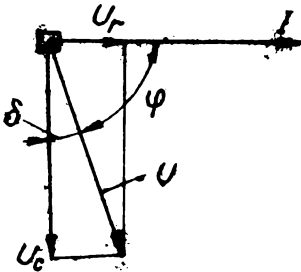
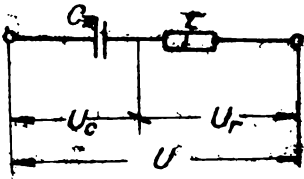
За да се намали температурният коефициент, предпочитат се диелектрици с минимален температурен коефициент на  $\epsilon$ . При керамичните кондензатори например малък температурен коефициент на диелектрика може да се получи чрез смесване на две съставни, които имат  $\alpha_\epsilon$  с различен знак, в подходяща пропорция. Може да се използва и друг метод: паралелно свързване на два кондензатора с положителен и отрицателен температурен коефициент на диелектрика. В такъв случай, ако полученият чрез паралелното свързване кондензатор има капацитет  $C$ , тогава капацитетите  $C_1$  и  $C_2$  на двата кондензатора се определят по формулите

$$C_1 = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} C \quad \text{II.5}$$

$$C_2 = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} C \quad \text{II.6}$$

където  $\alpha_1, \alpha_2$  са температурните коефициенти на  $C_1$  и  $C_2$ .

По този начин могат да се изработят всякакъв вид термокомпенсирани кондензатори. Недостатъкът на този начин се състои в това, че се получава кондензатор с големи размери. Не трябва да се забравя също така, че точната термична компенсация се получава само при равномерно и еднакво нагряване на двата съставни кондензатора. При бързо повишаване на температурата това не винаги може да се осъществи, поради което термичната компенсация не е пълна.



фиг. II. 1

Промяната в температурата може да бъде причина и за остатъчни изменения в капацитета на кондензатора. Тези изменения се характеризират с  $\Delta C_{ост}$  и могат да се установят, след като кондензаторът приеме отново своята начална температура.

### б. Ъгъл на загубите

Идеалният кондензатор се характеризира с това, че съпротивлението на диелектрика му е безкрайно голямо, а съпротивлението на съединителните проводници и на кондензаторните плочи е равно на нула. Този кондензатор не черпи активна мощност от токоизточника, тъй като

$$\varphi = \pi/2 \text{ и } P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 0. \quad \text{II.7}$$

При реалния кондензатор обаче

$$\varphi \neq \pi/2 \quad \text{и} \quad P \neq 0, \quad \text{а} \quad \varphi + \delta = \pi/2. \quad \text{II.8}$$

Ъгълът  $\delta$ , който допълва до  $90^\circ$  ъгъла на фазното отместване  $\varphi$  между тока и напрежението на кондензатора, се нарича ъгъл на загубите.

Загубите на кондензатора могат да се отчетат чрез активно съпротивление, което се включва последователно /фиг. II.1/ или паралелно /фиг. II.2/ към капацитета.

За последователната схема ъгълът на загубите следва от уравнението

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{U_r}{U_c} = \frac{I \cdot r}{I \cdot \frac{1}{\omega C_r}} = r \omega C_r, \quad \text{II.9}$$

а за паралелната схема

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{I_r}{I_c} = \frac{U/R}{U \omega C_r} = \frac{1}{R \omega C_r}. \quad \text{II.10}$$

Връзката между параметрите на последователната и паралелната схема следва от формулите

$$Z_p = r = j \frac{1}{\omega C_r} \quad Z_r = \frac{R \cdot \frac{1}{j \omega C_r}}{R + \frac{1}{j \omega C_r}}; \quad \text{II.11}$$

$$Z_p = Z_r; \quad \text{II.12}$$

$$r = \frac{R}{1 + R^2 \omega^2 C_r^2} = \frac{R}{1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta}}; \quad R = r \left( 1 + \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \delta} \right); \quad \text{II.13}$$

$$C_p = \frac{C_r (1 + R^2 \omega^2 C_r^2)}{R^2 \omega^2 C_r^2} = C_r (1 + \operatorname{tg}^2 \delta); \quad C_r = \frac{C_p}{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} \quad \text{II.14}$$

С  $\operatorname{tg} \delta$  може да се намери активната мощност, която кондензаторът поема:

$$P = UI \cos \varphi = UI \cos \left( \frac{\pi}{2} - \delta \right) = UI \sin \delta$$

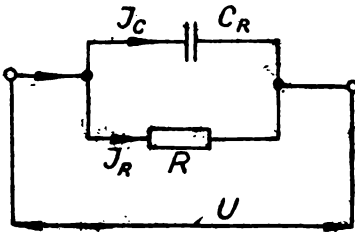
или

$$P = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta = UI \operatorname{tg} \delta$$

за малки стойности на  $\delta$ .

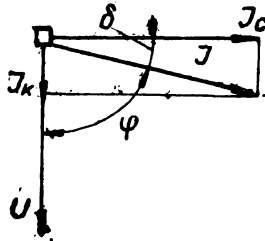
Където  $P$  е във ватове,  $U$  във волтове,  $C'$  във фаради.

От последното уравнение следва, че загубите в кондензатора растат с квадрата на напрежението. Ето защо е трудно да се съчетаят в кондензатора малки загуби с високо работно напрежение и висока честота. Това се стнася преди всичко за кръгови кондензатори, които се използват в предаватели и във високочестотни промишлени съоръжения.



За да се намали в тези случаи активната мощност  $P$ , необходимо е да се сведе  $\operatorname{tg} \delta$  до много малки стойности.

За да се определи качеството на кондензатора, може да се използва и неговият качествено фактор. Последният се определя от формулата



Фиг. II. 2

$$Q = \frac{1}{\operatorname{tg} \delta} \quad \text{II.17}$$

Вместо  $\operatorname{tg} \delta$  може да се въведе коефициентът на мощността на кондензатора  $\cos \varphi$ , тъй като при малки стойности на  $\delta$

$$\operatorname{tg} \delta = \cos \varphi \quad \text{II.18}$$

За по-големи стойности на  $\delta$  трябва да се използват следните тригонометрични формули:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}} ; \quad \text{II.19}$$

$$\cos \varphi = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta}} . \quad \text{II.20}$$

С тези уравнения активната мощност може да се напише и по следния начин:

$$P = U^2 \omega C \cdot \delta \quad \text{II.21}$$

С изменението на температурата се изменя и ъгълът на загубите на кондензатора, който зависи преди всичко от загубите в диелектриката, тъй като загубите в металните плочи се изменят малко с температурата.

Общите загуби се състоят следователно от загуби в металните части и в диелектриката. Загубите в металните части и в диелектриката се дължат на отечен ток през диелектриката, който се обуславя от изолационното съпротивление на последния и от загуби вследствие диелектричния хистерезис /движение на полярни групи и обръщане на диполните молекули/. Тук трябва да се прибавят и загубите вследствие йонизация на въздушния пласт между диелектриката и кондензаторните плочи, както и йонизация на въздуха в краищата на кондензаторните плочи. Вследствие загубите в металните плочи плочите, както и изводите им се нагряват.

#### в. Оттечно /изолационно/ съпротивление

При зареждане на кондензатора с определено постоянно напрежение силата на зарядния ток постепенно намалява и се установява на една определена малка стойност - оттечният ток  $I_{отт}$ . Следователно оттечното съпротивление  $R_{из}$  може да се счита като включено успоредно към кондензатора и неговата стойност следва от уравнението

$$R_{из} = \frac{U}{I_{отт}} \quad \text{II.22}$$

Например при кондензатор  $C = 0,01 \mu\text{кФ}$ , с изолационно съпротивление  $10 \text{ мом}$  и напрежение  $500 \text{ в}$  следва

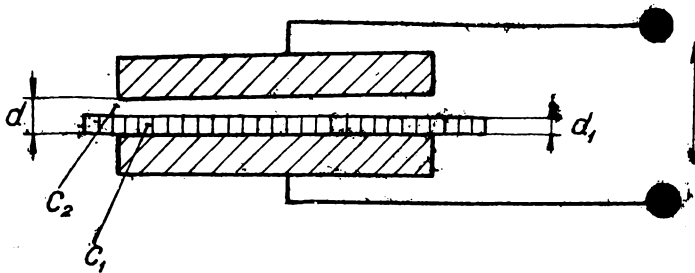
$$I_{отт} = \frac{500}{50} \cdot 10^{-8} = 50 \text{ мкА}$$

При променливо напрежение с честота 50  $\mu\text{H}$

$$\text{tg } \delta = \frac{1}{\omega C R_{uz}} = \frac{10^6 \cdot 10^{-6}}{6,28 \cdot 0,01 \cdot 10 \cdot 50} = 0,0319 \approx 3,2\%$$

Оттук следва, че 3,2 % от тока през кондензатора представлява оттечен ток.

С увеличаване на честотата оттеченият ток намалява обратно пропорционално на честотата. Например



при  $f = 50 \mu\text{H}$  коэффициентът  $\text{tg } \delta$  ще бъде 0,0032 %. Оттук може да се направи изводът, че при високи честоти значението на изолационното съпротивление

Фиг. II. 3

е минимално. Съпротивлението може да нарасне, само ако кондензаторът работи при неблагоприятни условия, например влага, която спомага за намаляване на изолационното съпротивление.

В много случаи за определяне качеството на кондензатора се използва времеконстантата

$$\tau = R_{uz} C, \quad \text{II.23}$$

където  $R_{uz}$  е в оме, а  $C$  във фаради.

Характерното тук е, че времеконстантата не зависи от размерите и формата на кондензатора, а се определя единствено от качеството на диелектрика. Това следва от изолационното съпротивление

$$R_{uz} = \rho_v \cdot \frac{d}{S} \cdot 10^{-6}; \quad \text{II.24}$$

където  $R_{uz}$  е в мегаоми

- $\rho_v$  - специфичното обемно съпротивление на диелектрика в  $\text{OM CM}$ ,
- $S$  - повърхността на кондензаторните плочи в  $\text{CM}^2$ , а
- $d$  - дебелината на диелектрика в  $\text{CM}$ .



Оттук следва за времеконстантата при

$$C = \frac{S \cdot \epsilon}{4\pi d \cdot 0,9} \cdot 10^{-9} \text{ мкФ} \quad \text{II. 25}$$

$$\tau = \rho_v \frac{d}{S} \cdot 10^{-9} \cdot \frac{S \epsilon}{4\pi \cdot 0,9 \cdot d} \cdot 10^{-9} = 0,884 \cdot 10^{-13} \rho_v \cdot \epsilon \quad \text{II 26}$$

Времеконстантата се използва като характерно величина само при големи кондензатори. За кондензатори с малък капацитет в течният ток през диелектрика е малък в сравнение с повърхностните течни токове по краищата на диелектрика. Ето защо малките кондензатори се характеризират с изолационното съпротивление  $R_{из}$ .

Загубите в метала се считат чрез активно съпротивление, което се свързва в серия с чистия капацитет на кондензатора. Влиянието на металните части се проявява особено силно при високи честоти вследствие скин ефекта, от една страна, и от друга - вследствие намаляването на капацитивното съпротивление на кондензатора. Поради това относителното значение на активното съпротивление нараства.

Влиянието на евентуално включени между кондензаторните плочи и диелектрика въздушни пластове може да се разгледа по следния начин /фиг. II.3/.

Ако се въведат означенията:

- $d$  - разстояние между повърхностите на кондензаторните плочи;
- $d_1$  - дебелина на диелектрика;
- $d - d_1$  - обща дебелина на въздушните включвания между диелектрика и плочите;
- $C_2$  - капацитет на кондензатора, съответстващ на включения въздушен диелектрик;
- $C_1$  - капацитет на кондензатора, съответстващ на твърдия диелектрик;
- $U$  - напрежение между плочите на кондензатора;
- $U_2$  - напрежение, приложено към сбора от въздушните включвания;
- $U_1$  - напрежение, приложено към твърдия диелектрик;
- $\epsilon$  - диелектрична константа на твърдия диелектрик,

тогава от елементарните разсъждения следват уравненията:

Токът  $I$  през кондензатора

$$I = C_1 \frac{dU_1}{dt} = C_2 \frac{dU_2}{dt} ; \quad \text{II.27}$$

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 \quad C_2/C_1 = \frac{U_1}{U_2}$$

Понеже

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{F \cdot 1 \cdot 4\pi \cdot d_1}{4\pi(d-d_1)F \cdot \epsilon} = \frac{d_1}{\epsilon(d-d_1)} \quad \text{II.28}$$

и

$$U_1 = U - U_2 , \quad \text{II.29}$$

следва

$$\frac{d_1}{\epsilon(d-d_1)} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{U-U_2}{U_2} = \frac{U}{U_2} - 1 \quad \text{II.30}$$

или

$$U_2 = \frac{\epsilon(d-d_1)}{d_1 + \epsilon(d-d_1)} \cdot U \quad \text{II.31}$$

Градиентът на потенциала във въздуха

$$\text{grad } U_2 = \frac{U_2}{d-d_1} . \quad \text{II.32}$$

Градиентът на потенциала в диелектрика

$$\text{grad } U_1 = \frac{U_1}{d} \quad \text{II.33}$$

Значението на отстраняването на въздушните включения между плочите на кондензатора и твърдия диелектрик се вижда от следния пример. Ако

$$d = 10 \text{ мм} = 1 \text{ см} ; \quad d - d_1 = 1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см} ;$$

$$d_1 = 9 \text{ мм} = 0,9 \text{ см} ; \quad \epsilon = 5 ;$$

$$U = 10 \text{ кВ} ;$$

следва

$$U_2 = \frac{\varepsilon(d-d_1)U}{d_1 + \varepsilon(d-d_1)} = \frac{5 \cdot 0,1 \cdot 10}{0,9 + 5 \cdot 0,1} = 3,57 \text{ кВ},$$

Градиентът на потенциала във въздуха е

$$\text{grad } U_2 = \frac{3,57}{0,1} = 35,7 \text{ кВ/см},$$

а в твърдия диелектрик

$$\text{grad } U_1 = \frac{3,57}{0,9} = 3,96 \text{ кВ/см}$$

Тъй като диелектричната якост на въздуха не е по-голяма от  $\sim 30 \text{ кВ/см}$ , то фактически цялото напрежение  $U$  ще бъде приложено към диелектрика и градиентът на напрежението в него ще бъде

$$\text{grad } U_1 = \frac{10}{0,9} = 11 \text{ кВ/см}$$

Наличието на въздушни вклучвания води към пробив в диелектрика и освен това е причина за значителни загуби в кондензатора.

### Г. Зависимост на капацитата от честотата

Основната причина за изменението на капацитета с честотата е честотната зависимост на  $\varepsilon$  с диелектричния материал. Обикновено  $\varepsilon$  спада при нарастване на честотата. Обаче и в случаите, когато диелектричната константа не се изменя с честотата, капацитетът на кондензатора показва известна честотна зависимост, която се дължи на последователното съпротивление  $r$ . Последното, както се изясни по-горе, се дължи на загуби в изводите, плочите и т.н. Ако тази схема се превърне в паралелна комбинация от  $C_e$  и  $R$ , ще се получи т.нар. ефективен капацитет на кондензатора:

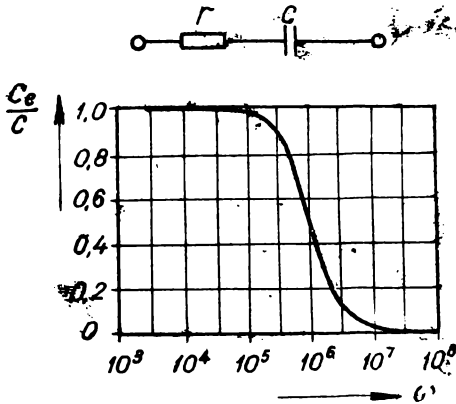
$$C_e = \frac{C}{1 + r^2 \omega^2 C^2} \quad \text{II.34}$$

Зависимостта на  $C_e$  от честотата е показана на фиг. II.4. където за  $C$  е прието  $1 \text{ мкФ}$ , а за  $r$  -  $1 \text{ ом}$ .

Както се вижда от фигурата при високи честоти, ефективният капацитет спада.

Ако кондензаторът съдържа известна индуктивност,

каквото е случаят при книжните кондензатори, тогава може да се получи увеличение на ефективния капацитет с честотата. Тази зависимост е показана на фиг. II.5, където  $C$  е пак  $1 \mu\text{кф}$ , а  $\omega L$  е  $1 \text{ мкхи}$ . В този случай

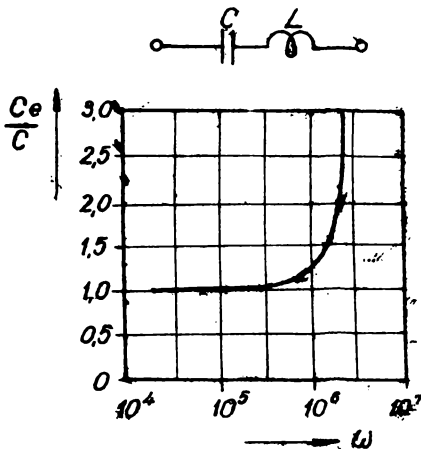


Фиг. II. 4

$$C_e = \frac{C}{1 - \omega^2 LC} \quad \text{II.35}$$

В съвременните кондензатори за кондензаторните пластини се използва главно алуминий. Порядко се употребява сплав от олово и калай или мед. Сребро се използва само във вид на тънък пласт, който се нанася непосредствено върху диелектрика.

Съпротивлението на кондензаторните пластинки може да има значителни стойности. Това се разбира като се има предвид, че използваната, например, за книжни кондензатори фолия има дебели от 5 до 10 микрона, а тънкият метален пласт, който се нанася върху диелектрика, е с дебелина 2 до 3 микрона. Особено голямо е съпротивлението на плочите на електролитния кондензатор, където



Фиг. II. 5

дето едната плоча е течният електролит със специфично съпротивление 100 до 1000  $\text{ом см}$ . Топлинната енергия, която се отделя в кондензатора, повишава неговата температура. При естествено въздушно охлаждане на повърхността на кондензатора се установява темпера-

$$T_k = \frac{P}{S \cdot \alpha} + T_0$$

II.36

където

$T_0$  е температурата на околната среда;  
 $S$  - охлаждащата повърхност на кондензатора;  
 $\alpha$  - коефициент, който характеризира способността на кондензатора да отдава топлина;  
 $P$  - поетата електрическа мощност.

В горната формула се въвежда  $P$  във ватове,  $S$  в  $cm^2$ ,  $T_k$ ,  $T_0$  в  $^{\circ}C$ . За приблизителни изчисления се приема

$$\alpha = 10^{-3} \frac{вт}{cm^2 \cdot ^{\circ}C}$$

и да се намали температурата на кондензатора, особено когато той работи при висока честота и със значителна реактивна мощност, се постъпва така.

1. Увеличава се охлаждащата повърхност на кондензатора, като към корпуса му се заваряват охлаждателни ребра.

2. Използува се форсирано въздушно охлаждане /с вентилатор/.

3. Използува се водно охлаждане.

Форсираното въздушно охлаждане позволява увеличаване на номиналната реактивна мощност на кондензатора от три до четири пъти, а водното охлаждане - 20 до 30 пъти.

#### д. Диелектрична якост

Диелектричната якост на кондензатора зависи преди всичко от дебелината и качеството на диелектрика, който разделя кондензаторните плочи. Освен това тя зависи и от особеностите на конструкцията: активна площ на кондензаторните пластинки, условия за охлаждане и други. Способността на диелектрика да издържа приложеното към него напрежение се характеризира от пробивната напреженост,

$$E_{np} = \frac{U_{np}}{d}$$

II.37

където

$E_{np}$  е напрежеността в  $кВ/мм$ ;  
 $U_{np}$  - пробивното напрежение в  $кВ$ ;  
 $d$  - дебелината на диелектрика в  $мм$

Ако напрежеността на полето в диелектрика достигне  $E_{пр}$ , диелектриктът се пробива, кондензаторните пластини се оказват свързани на късо и кондензаторът излиза от строя. Пробивът в кондензатора води обикновено до сериозни повреди в апаратурата, към която кондензаторът е включен. Ето защо на неговата пробивна якост трябва да се обърне сериозно внимание.

Пробивът в кондензатори с газова среда и отчасти течен диелектрик се обяснява с ударната йонизация. Когато електрическата енергия на свободните йони или електрони, които се намират в газовата среда, се окаже достатъчна за йонизацията на газовите молекули, последните се йонизират, броят на свободните йони нараства лавинообразно, а заедно с тях се увеличава и проводимостта на газа. Скоростта на движението на йоните в газа зависи както от напрежението  $U$ , така и от средната дължина на свободния път, т.е. средното разстояние, което йонът изминава, преди да се сблъска с газова молекула. Чрез увеличаване на налягането в газа средната дължина на свободния път се намалява и по този начин се увеличава пробивната якост на кондензатора. На този принцип почиват кондензаторите за високо напрежение в газова среда. От друга страна диелектричната якост може да се увеличи, ако налягането на газовата среда се сведе до много малки стойности. По този начин броят на молекулите в единица обем силно намалява, а заедно с това се намалява и вероятността за сблъскване между йоните и молекулите. На този принцип почиват вакуумните кондензатори.

При нормално налягане диелектричната якост на газовете не е голяма. За въздух при хомогенно електрическо поле  $E_{пр} \approx 3 \text{ кВ/мм}$ . С повишаване на налягането обаче пробивната якост може да се увеличи 10 до 20 пъти.

Едно важно предимство на газовите диелектрици е способността им да се възстановяват напълно след пробив.

Повишаването на пробивната якост на течните диелектрици може да се обясни и с теорията на йонизацията. Течните диелектрици имат по-голяма плътност, отколкото газовите. Ето защо средната дължина на свободния път на йоните при тях е много малка, което обяснява увеличената устойчивост на този вид диелектрици при високи напрежения. Това важи за чисти течни диелектрици, от които са отстранени всякакви следи от газове или въздушни включения. Последните значително снижават пробивната напреженост особено при овлажняване на течния диелектрик, който трябва да бъ-

де добре изсушен, филтриран и обезгазен. Възстановяването на течния диелектрик след пробив не е толкова съвършено, както това на газовия диелектрик, понеже получените при пробива съставни се поемат от течността и по такъв начин намаляват нейната пробивна якост.

Особено важно изискване към течния диелектрик е да не съдържа киселинни остатъци.

При твърдите диелектрици се различават две основни форми на пробива:

а/ чисто електрически пробив, при който пробивното напрежение не зависи от времето на въздействието му върху диелектрика на кондензатора от една страна, и от друга - пробив, който малко зависи от температурата на околната среда;

б/ топлинен пробив, при който се наблюдава значително спадане на пробивната напреженост, дължаща се, от една страна, на повишена температура, а от друга страна - на продължително въздействие на напрежението. При кратковременно въздействие на напрежението и при нормална или понижена температура на околната среда обикновено имаме чисто електрически пробив, а при продължително въздействие на напрежението при повишена температура - топлинен пробив.

Електрическият пробив може да се схване като следствие от създаването на значителна електронна проводимост в диелектрика. Топлинният пробив представлява нарушение на топлинното равновесие в слабите места на диелектрика и води до бързо нарастване на отделената на тези места топлина и към чисто термично разрушаване на диелектрика. Отделянето на значително количество топлина се дължи при постоянно напрежение на ниското изолационно съпротивление, а при променливо напрежение - на значителния ъгъл на загубите. Както изолационното съпротивление, така и ъгълът на загубите изменят стойностите си при повишаване на температурата така, че благоприятствуват топлинния пробив.

При повечето органични диелектрици се наблюдава стареене на диелектрика при продължително въздействие върху него от електрическото поле. Старееенето се обяснява с физикохимически и електрохимически процеси, които водят до постепенно намаляване на електрическата якост в кондензатора, който използва органически диелектрици. То се ускорява от повишаването на температурата, поради което кондензатори от този тип, работещи при повишена температура, трябва да се включват към понижено напрежение.

За преценяване електрическата якост на кондензатора се използват следните напрежения:

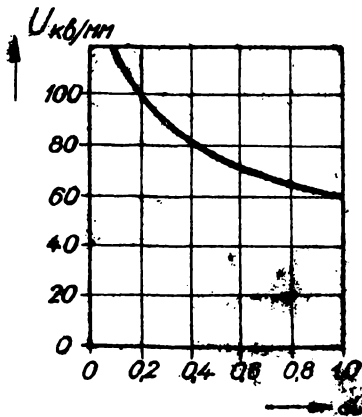
1. Работно напрежение  $U_{раб}$ , при което кондензаторът може да работи продължително време. Обикновено се гарантират не по-малко от 10 000 часа непрекъсната работа.

2. Пробно напрежение  $U$ , което кондензаторът трябва да издържа без пробив за кратко време, обикновено 5 секунди, а в някои случаи до 1 минута.

3. Пробивно напрежение  $U_{пр}$ , при което кондензаторът излиза от строя при бързо изгробване. За определяне на пробивното напрежение приложеното към кондензатора напрежение се повишава до пробивната му стойност в течение на няколко секунди.

За кондензатори с органически диелектрик, чиято електрическа якост спада с течението на времето,  $U_{раб}$  се избира няколко пъти по-ниско (до 10 пъти), отколкото  $U_{пр}$ , а  $U$  няколко пъти по-голямо от  $U_{раб}$ . Обикновено се приема пробното напрежение да е равно на три пъти от работното.

За кондензатори с твърд неорганичен диелектрик и за кондензатори с газообразен диелектрик електрическата якост не се изменя с времето, поради което работното, пробното и пробивното напрежение имат по-близки една до друга стойности. Обикновено пробното напрежение е от 1,5 до 2 пъти от работното.



Фиг. 11. 6

### е. Диелектрици

Слюда. Слюдата се използва при кръгови кондензатори на висока честота, а също така и за блокировъчни кондензатори. Отличава се с малък ъгъл на загуби, значителна диелектрична константа и голяма електрическа якост. Поради това слъдените кондензатори са компактни и удобни от конструктивно гледище.

От различните видове слюда за кондензатори най-голямо разпространение е получил мусковитът, който има следните основни качества:

Специфично тегло	2.76 до 3
Максимална работна температура	520°C
Диелектрична константа	5.5 до 7.5
Специфично обемно съпротивление	$10^{14}$ до $10^{15}$ Ом·см



Таблица II. 1

Произход	Цвет	Дебелина в мм	Пробивно напрежение кв	Пробивен градиент кв/мм
Урал	бял	0,05	7,39	147
Урал	бял	0,05	10,30	205
Урал	бял	0,04	5,94	150
Мурманск	розов	0,05	11,88	238
Мурманск	розов	0,05	10,56	211
Мурманск	розов	0,04	9,24	232
Индия	розов	0,04	14,40	360

Електрическата якост на слюдата зависи от честотата на приложеното напрежение. В таблица II.1 са дадени пробивните напрежения на няколко вида мусковит, като посочените в нея данни важат за постоянно напрежение. Опитите са проведени във въздушна среда.

С увеличаване на дебелината на слюдата пробивното напрежение както при всеки диелектрик расте, докато пробивният градиент, т.е. електрическата якост, спада. Това може да се види от фиг. II.6.

С увеличение на честотата пробивното напрежение и електрическата якост бързо намаляват. В таблица II.2 са дадени някои данни за пробивното напрежение при честота до 50 kHz за слюда с дебелина 0,015 мм.

Таблица II. 2

Честота /херци/	Пробивно напрежение [кв] /амплитуда/	Пробивен градиент [кв/мм] /амплитуда/
0	8,00	540
5	2,55	170
10	2,06	139
50	1,75	116
500	1,57	104
5 000	1,49	99
50 000	1,38	92

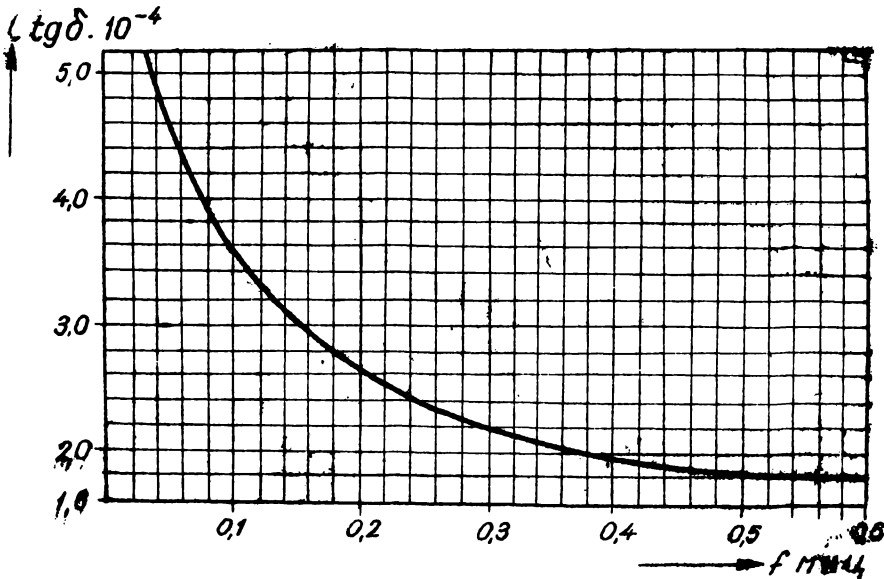
Диелектричните загуби се характеризират за 50 *хц* от

$$\operatorname{tg} \delta = 0,002 ; \quad \delta = 7'$$

За високи честоти  $\operatorname{tg} \delta$  е значително по-малък. За честоти от  $10^5$  до  $6 \cdot 10^6$  *хц*

$$\operatorname{tg} \delta = 1,8 \cdot 10^{-4} + 3,2 \cdot 10^{-4}$$

Зависимостта на  $\operatorname{tg} \delta$  от честотата е дадена на фиг. II.7.



Фиг. II. 7

Трансформаторно масло. Използва се като диелектрик на кръгови кондензатори за мощни високочестотни устройства. Неговите характерни свойства са високата диелектрична константа и значителната диелектрична якост. По-важните му характерни белези са:

- а/ специфично обемно съпротивление  $10^{12} \div 10^{13}$  *ом см* ;
- б/ диелектрична константа 2, 5 до 2, 5;
- в/ диелектрическа якост *кВ/мм* ;
- г/ ъгъл на загубите  $\operatorname{tg} \delta = 0,001 \div 0,$  при  $f = 50$  *хц*.

Таблица 11.3

Керамични материали с малко  $\epsilon$  и положително  $\alpha_{\epsilon}$ 

Характерна величина	Изолаторен порцелан	Радио-порцелан	Ултра-порцелан	Стеатит	Алуминоксид	Керамит
Диелектрична проницаемост $\epsilon$	6	- 5,5	- 7,5	6,5-7,5	10 - 11	7,5 - 8
Температурен коефициент $\alpha_{\epsilon}$ [ $град^{-1}$ ]	+500+200.10 <sup>-6</sup>	+180.10 <sup>-6</sup>	+120.10 <sup>-6</sup>	+110.10 <sup>-6</sup>	+120.10 <sup>-6</sup>	+120.10 <sup>-6</sup>
Тангенс на ъгъла на загубите при 20°C и 1 мхч	90+105.10 <sup>-4</sup>	30+35.10 <sup>-4</sup>	6+9.10 <sup>-4</sup>	4+6.10 <sup>-4</sup>	1,5+4,5.10 <sup>-4</sup>	9+12.10 <sup>-4</sup>
Обемно съпротивление [ $\Omega \cdot cm$ ] при 100°C	10 <sup>11</sup>	5,10 <sup>13</sup>	5,10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>13</sup>
Циклично напрежение [ $kB/cm$ ] при 50 хч	10 ÷ 20	15 - 20	15 - 20	20 - 25	15 - 20	15 - 20
Коефициент на линейно разширение [ $град^{-1}$ ]	4,5.10 <sup>-6</sup>	5,8.10 <sup>-6</sup>	4,5.10 <sup>-6</sup>	7,7.10 <sup>-6</sup>	6.10 <sup>-6</sup>	5.10 <sup>-6</sup>
Коефициент на топлопроводимост [ $Вт/см \cdot град$ ]	0,015	0,015	0,050	0,020	0,150	0,060

Таблица II. 4  
Термостабилни керамични материали с малки значения на  $\alpha_c$

Характерна величина	Титанат	Глилин	Термоконд, ТК-М	Термоконд, ТК-П	Тетрабаб
Диелектрична проникваемост $\epsilon$	13	12 ÷ 14	20 ÷ 25	15 ÷ 20	28
Температурен коефициент $\alpha_c$ , [град <sup>-1</sup> ]	$+30 \cdot 10^{-6}$ $-20 \cdot -40 \cdot 10^{-6}$	$-20 \div -60 \cdot 10^{-6}$	$-20 \div -60 \cdot 10^{-6}$	$+0 \div 30 \cdot 10^{-6}$	$10 \div 30 \cdot 10^{-6}$
Тангенс на ъгъла на загубите при 20°C и 1 МГц	$5 \cdot 10^{-4}$	$4 \div 7 \cdot 10^{-4}$	$3 \div 6 \cdot 10^{-4}$	$3 \div 6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Обемно съпротивление [ом см] при 100°C	-	$10^3 \div 5 \cdot 10^{13}$	$10^{13} \div 5 \cdot 10^{13}$	$10^3 \div 5 \cdot 10^{13}$	-
Средно пробивно напрежение [кВ/мм] при 50 кГц	-	10 ÷ 15	10 ÷ 15	10 ÷ 15	10
Коефициент на линейно разширение [град <sup>-1</sup> ]	-	$5, 8 \cdot 10^{-6}$	$5, 8 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	-
Коефициент на топлинна проводимост [вт/см.град <sup>-1</sup> ]	-	0,030	0,035	0,040	-

Таблица II. 5

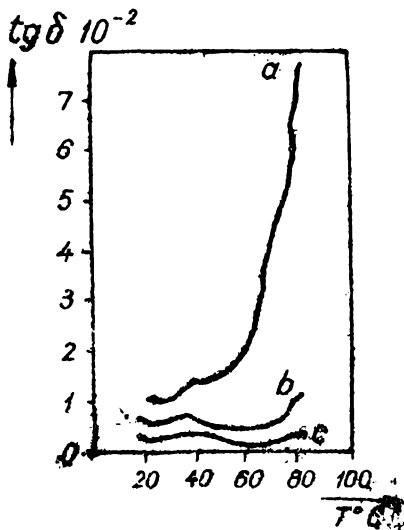
Цвят на кондензатора	Материал	$\epsilon$	Температурен коефициент
Сивоморав	калми	6.5	$120 \div 160 \cdot 10^{-6}$
Виолетов	темпа S	4.00	$30 \div 50 \cdot 10^{-6}$
Кафяв	конденза N	40.00	$-340 \div -380 \cdot 10^{-6}$
Светлозелен	конденза F	65-80	$-700 \div -740 \cdot 10^{-6}$
Кермиденочервен	Конденза C	80	$-700 \div -740 \cdot 10^{-6}$

Керамика. Данни за употребяваните керемични материали са дадени в таблица II. 3. В таблица II. 4 са дадени характерните стойности на термостабилни керемични материали, а на таблица II.5 - характерните стойности за керемични материали европейско производство /Hesabo /.

Кондензаторна хартия. Основните данни за кондензаторна хартия /пропита с парафин/ са следните:

- а/ диелектрична константа 3,7;
- б/ диелектричен загубен коефициент при честота 50 хц, 100 - 120 кВ/мм ;
- в/ ъгъл на загубите при честота 8000 хц ;

$$\text{tg } \delta = 0,034 \div 0,0076; \quad \delta = 14' \div 26'$$



Фиг. II. 8

Сравнително високият ъгъл на загуба не позволява използването на книжните кондензатори за високочестотни цели. Голямо значение за стойността на  $\text{tg } \delta$  има начинът на обработката на хартията /изсушаване, импрегниране, което е показано нагледно на фиг. II.8/. Кривата  $\alpha$  съответствува на недостатъчното изсушаване на хартията преди импрегницията, крива  $\beta$  съответствува на импрегнирана хартия без предварително изсушаване, а кривата  $\gamma$  съответствува на добре изсушена кондензаторна хартия под вакуум при  $100^\circ \text{C}$  и импрегниция при  $110^\circ \text{C}$ .

Диелектрици, използвани като конструктивен материал

Ебонит. Ебонитът се характеризира със следните електрически и механически свойства:

а/	диелектрическа якост	20 - 150 кВ/мм;
б/	диелектрична константа	2,5 - 3,5;
в/	специфично съпротивление	$2 \cdot 10^{15} - 3 \cdot 10^{16}$ ом см;
г/	ъгъл на загубите при 1000 кхц;	
	$\tan \delta = 0,002 \div 0,003$ ;	$\delta = 7' \div 1^{\circ} 10'$

Добрите електрически качества на ебонита позволяват използването му за редица детайли, които са подложени на високо напрежение и висока честота. Например клемни плочи, гребени за високочестотни бобици, изолационни плочи за кондензатори и др. Тези качества на ебонита се запазват до приблизително 1 мхц. При по-високи честоти електрическите и механически качества на ебонита се влошават бързо, поради което той не се използва за къси вълни.

Ебонитът има следните механични качества:

а/	специфично тегло	1,18 - 1,40;
б/	якост на натиск	570 - 870 кг/см <sup>2</sup> ;
в/	якост на опън	250 - 300 кг/см <sup>2</sup> ;
г/	топлинна устойчивост /по Мартенс/	50 - 70° С ;
д/	хигроскопичност	0,05 - 0,10 %.

Ебонитът се поддава добре на механична обработка: струговане, пробиване, фрезование и т. н., което значително разширява областта на използването му. Сериозен недостатък на ебонита е слабата му топлинна устойчивост.

Гетинакс. Гетинаксът намира широко приложение като изолационен конструктивен материал. Главните му електрически и механически свойства са:

а/	диелектрическа якост	9 - 13 кВ/мм ;
б/	диелектрична константа	4 - 5;
в/	специфично съпротивление	$10^{13} - 10^{14}$ ом см ;
г/	ъгъл на загубите при 500 кхц	$\tan \delta = 0,035$ ; $\delta = 2^{\circ}$ ;
д/	специфично тегло	1,35 - 1,55;
е/	якост на натиск	800 - 1600 кг/см <sup>2</sup> ;
ж/	якост на опън	800 - 1600 кг/см <sup>2</sup> ;
з/	топлинна устойчивост /по Мартенс/	100° С и
и/	хигроскопичност	2 - 3 %.

Гетинакът подобно на ебонита се използва главно в устройства, работещи на средни и дълги вълни.

**Дърво.** Дървото се използва като конструктивен материал в дълговълнови предаватели и високочестотни генератори за индустриални цели. Основните електрически качества на различните видове дървесина в сухо и в импрегнирано състояние са дадени на таблици II. 6 и II. 7.

Таблица II. 6

Вид дърво	Диелектрическа якост [кВ/мм]	Специфично съпротивление [ом см]	Съдържание на влага в [%]
Бук	5,2	1,4.10	8,3
Бял бук	5,7	2,0.10	7,6
Бреза	6,6	8,6.10	7,9
Бор	6,0	1,6.10	7,5
Елб	4,7	1,0.10	9,3

Таблица II. 7

Ъгъл на загубите  $\delta$

Обработка	Бреза	Бук	Круша	Бор
Изваряване в продължение на 10-12 часа при 135°C	1° 7'			
Изваряване и изсушаване при 135°C		1° 5'	1° 10'	1° 02'
Изваряване в парафин в продължение на 10 до 12 часа при 135°C	1° 22'	1° 25'	1° 22'	1° 14'

## Б. Кондензатори с газове и течен диелектрик

### а. Характерни данни

Този вид кондензатори се отличават с няколко особености:

1. Диелектриктът не може да се използва за закрепване на кондензаторните пластини. Поради това в конструкцията на кондензатора трябва да се предвиди твърд изолационен материал, към който да се закрепят кондензаторните плочи.

2. Кондензаторът с газове или течен диелектрик възстановява своята диелектрическа якост непосредствено след пробив между кондензаторните плочи. Поради това случайният пробив не представлява опасност за кондензатори от този вид. Ако обаче мощността на енергийния източник е достатъчно голяма, пробивът може да причини образуването на дъга, която да разтопи кондензаторните плочи.

3. Конструкцията на променливи кондензатори е сравнително лека. Променливият кондензатор се получава, като се движи един пакет от кондензаторни пластини /роторен/ по отношение на втори /статорен/ пакет.

При ниски напрежения възможността за йонизация е изключена, поради което газовите диелектрици имат малък ъгъл на загуби и малка проводимост. Диелектричната константа остава постоянна в границите на широк честотен спектър и зависи малко от околната температура. Тази особеност на газовете е особено ценна. Кондензаторите с газове диелектрик се използват във всички случаи, където е необходима висока стабилност на капацитета и малък ъгъл на загубите, а именно в електроизмерителната техника и във високочестотната техника.

Главният недостатък на кондензаторите от този вид е малката диелектрична константа  $\epsilon$  и малката диелектрическа якост, която налага сравнително ниска напреженост на електрическото поле между плочите на кондензатора. Обикновено се работи с напреженост, по-малка от  $1 \text{ кВ/мм}$ . Друг недостатък на въздушния кондензатор е намаляването на диелектрическата якост с увеличаване височината над морското равнище. Това се обяснява с намаляването на атмосферното налягане.

Поради малките стойности на  $\epsilon$  и  $U_{пр}$  специфичният обем на кондензатора /обем при единица капацитет/ при нормално налягане е твърде значителен. Ето защо въздушни кондензатори с големи капацитивни стойности са неу-



добни от конструктивно гледище. Техните капацитивни стойности не превишават 1000 или няколко хиляди пико-фарада.

Постоянните въздушни кондензатори се използват в маломощни предавателни апаратури за къси и ултракъси вълни, тъй като в тези случаи размерите им не са много големи. Променливите въздушни кондензатори намират широко приложение в радиоприемниците и маломощните предаватели. Сравнително голямо приложение намират кондензаторите с газов диелектрик, поставен под силно налягане, което позволява да се намали значително специфичният обем на кондензатора. При високи честоти и малки капацитивни стойности се използва също така и вакуумният кондензатор.

Кондензаторът с течен диелектрик има някои неоспорими преимущества пред газовия. Даже неполярните течности имат диелектрична константа, която е два пъти по-голяма от тази на газовете, докато слабо полярните течности имат 4 - 6 пъти по-висока диелектрична константа. В сравнение с газовете при нормално атмосферно налягане течните диелектрици се отличават със значително по-висока диелектрична якост, което позволява да се увеличи напрежеността на електрическото поле. Поради тези две причини специфичният обем на кондензатора с течен диелектрик е значително по-малък.

В друго отношение обаче течният диелектрик има по-лоши качества от газа. Така неполярните течности имат  $\epsilon_{gb} \approx 10^{-4}$ , докато за газове  $\epsilon_{gb} \approx 10^{-5}$ . Полярните течности имат още по-висок ъгъл на загуби. Освен това диелектричната константа на течностите зависи силно от температурата, което е също значителен недостатък. Високата диелектрична якост и малкият ъгъл на загубите на течностите могат да се реализират само при добро пречистване и изсушаване, което силно усложнява технологията на кондензаторите с течен диелектрик. Последните трябва да се затворят херметически, за да не се допусне проникване на влага. Съществен недостатък на органическите течности представлява стареенето на диелектрика при нагриване и при взаимодействие на електрическо поле.

#### б. Плосък въздушен кондензатор с постоянен капацитет

Капацитетът на плоския въздушен кондензатор, който се състои от две плочи, зависи от активната повърхност на плочите, диелектричната константа на въздуха и от разстоянието между плочите. Той следва от формулата

$$C = \frac{F \cdot \epsilon}{4\pi \cdot d}, \quad \text{II.38}$$

където

$\epsilon$  е диелектричната константа, която за въздух се приема равна на единица;

$d$  – разстоянието между плочите в  $cm$ ;

$F$  – активната повърхност на плочите в  $cm^2$ ;

$C$  – капацитетът на кондензатора в  $cm$ .

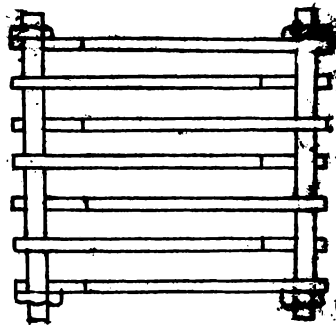
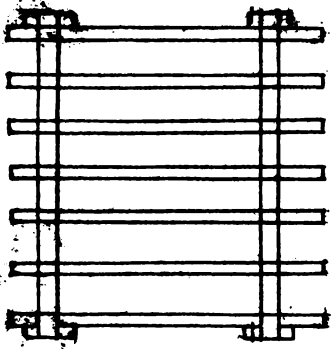
Получената от горната формула капацитивна стойност на кондензатора в  $cm$  се изразява в пикосфаради, като се взема предвид следното уравнение:

$$C_{[пф]} = \frac{1}{0,9} \cdot C_{[cm]} = 1,1 \cdot C_{[cm]} \quad \text{II.39}$$

Когато кондензаторът има  $n$  плочи, капацитетът му се определя от

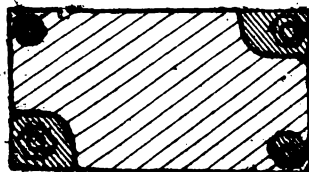
$$C = (n - 1) \cdot \frac{F \cdot \epsilon}{4\pi \cdot d}. \quad \text{II.40}$$

Тази формула важи само за случаите, когато електрическото поле между плочите на кондензатора е хомогенно, т.е.



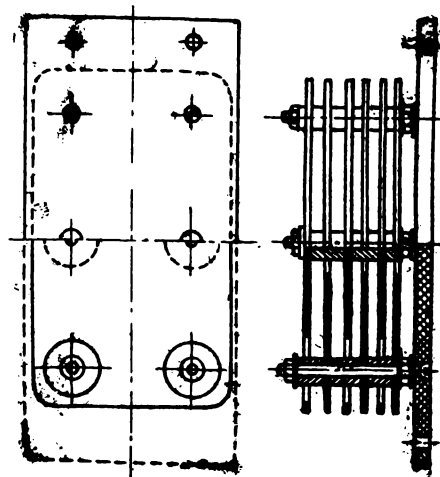
когато разстоянието между плочите е малко спрямо тяхната повърхност.

Конструктивното изпълнение на плоски въздушни кондензатори е дадено на фиг. II. 9. Плочите на кондензатора могат да бъдат с правоъгълна, квадратна, триъгълна



или кръгла форма в зависимост от предназначението на кондензатора и от производствените възможности. Разстоянието между плочите се установява чрез метални втулки, чиято дебелина е подбрана така, че плочите да могат да се монтират стабилно. Това е особено важно, като се има предвид, че обикновено плочите се закрепват само в две точки, разположени по диагонала, ако плочата е с правоъгълна или квадратна форма. При големи размери на плочата по диагонала може да се получи огъване.

Плочите се изработват обикновено от листов алуминий с дебелина от 1 до 3 мм. Към изработката не се поставят други изисквания освен добре полирана повърхност и добро заобляне на ръбовете, за да се избягнат пробиви и да се увеличи пробивната якост на кондензатора. Ограничителните втулки, винтове и носещите шпилки се изработват от месинг. Двата срещуположни ъгъла /по диагонала/ са изрязани така, че между шпилката, носеща другозначния пакет, и плочата да се получи разстояние, равно на разстоянието между плочите. Целият кондензатор се закрепва чрез шпилките си към две изолационни плочи, които носят кондензаторните пакети.



Фиг. II. 10

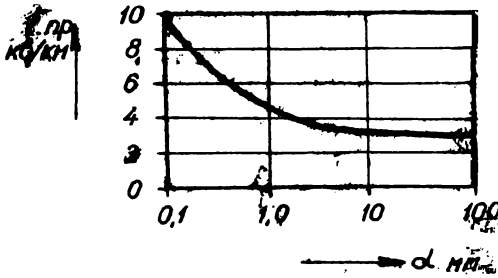
На фиг. II.10 е показана конструкцията на малък въздушен кондензатор с постоянен капацитет.

Крепящите шпилки на еднозначните плочи минават през кръглите отвори на другозначните плочи. Двата пакета са закрепени към плоча от изолационен материал.

При избора на разстоянието между плочите трябва да се има предвид зависимостта на диелектрическата якост на въздуха от разстоянието  $d$ , която е дадена на фиг. II. 11. Както се вижда от фигурата, при хомогенно електрическо поле пробивната напреженост е от 4,5 до 3,3 кВ/мм при  $d$  от 1 до 10 мм. При променливо напрежение с честота 50 Hz дадените стойности съответствуват на 3,2 до 2,3 кВ/мм ефективна пробивна напреженост. Тези данни се отнасят за сух въздух при нормално атмосферно налягане.

Грамавините на повърхността на кондензаторните плочи не могат да се избягнат напълно даже и при добра

ч гризлива полировка. Поради което електрическото поле между плочите на кондензатора не може да се счита за напълно хомогенно.



Фиг. II. 11

Ето защо при оразмеряването на въздушните кондензатори  $E$  се приема не повече от  $1 \text{ кВ/мм}$ , а работната напреженост

$$E_{\text{раб}} \approx 0,5 \div 0,7 \text{ кВ/мм}.$$

Ако се използва кондензаторът при намалено атмосферно налягане, трябва да се има предвид намаляването на  $U_{\text{пр}}$  с висо-

чината над земната повърхност, което е дадено на фиг. II. 12.

Температурният коефициент на въздушния кондензатор зависи преди всичко от изменението на конструктивните размери на кондензатора

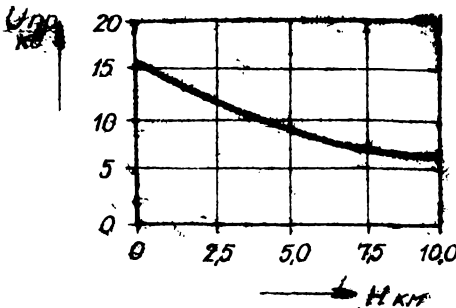
$$\alpha_c = 2\alpha_1 - \alpha_2,$$

II. 41

където  $\alpha_1$  е коефициентът на линейното разширение на метала, от който са изработени пластините на кондензатора, а  $\alpha_2$  е коефициентът на линейното разширение на метала, от който са изработени ограничителните втулки. Ако за пластините и ограничителните втулки е използван един и същ метал, тогава

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad \alpha_c \approx \alpha_1 \approx \alpha_2,$$

т.е. температурният коефициент ще бъде равен на коефициента на линейното разширение на метала.



Фиг. II. 12

За да се увеличи стабилността на капацитета, след монтажа кондензаторът се нагрява няколко часа при висока температура и след това се подлага на постепенно охлаждане. По този начин чрез изкуствено стареене се отстраняват вътрешните напрежения на металните че-

сти. За да се подобри температурният коефициент, може да се използва и метал с малък коефициент на линейно разширение, например инвар, или да се приложи методът на температурна компенсация чрез подходяща конструкция на кондензатора.

### в. Цилиндричен кондензатор

Цилиндричният кондензатор е изобразен на фиг. II. 13. Неговите плочи представляват два цилиндъра, които са разположени коаксиално. Капацитетът му се изчислява по формулата

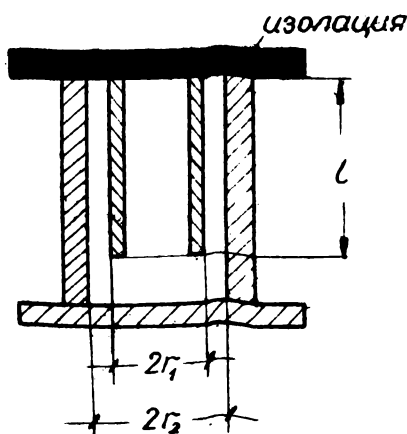
$$C = \frac{l}{2 l \pi \frac{r_1}{r_2}}, \quad \text{II. 42}$$

където

- $r_1$  - външният радиус на вътрешния цилиндър;
- $r_2$  - вътрешният радиус на външния цилиндър;
- $l$  - активната дължина на цилиндриге.

Всички размери, включително и капацитетът на кондензатора, се изразени в *см*

илиндричният кондензатор се използва и като променлив кондензатор, при които вътрешният цилиндър се движи по оста и по този начин се намалява активната дължина  $l$ , а заедно с нея капацитетът на кондензатора.

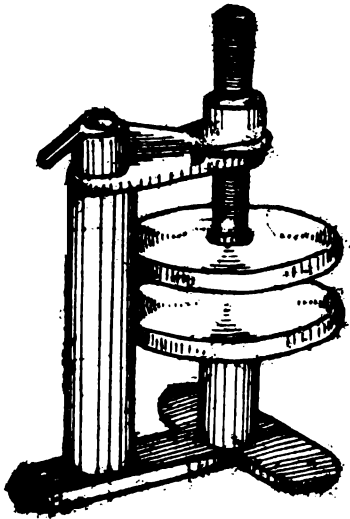


Фиг II 13

### Променлив дисков кондензатор

Дисковият кондензатор е изобразен на фиг. II. 14. Състои се от две кръгли плочи-дискове, едната от които е неподвижна. Посредством втория диск, който е подвижно монтиран, се изменя разстоянието между двете плочи, а заедно с него и капацитетът на дисковия кондензатор. Най-малкото разстояние се ограничава от действувашото между плочите

напрежение. При  $d = d_{min}$  капацитетът на кондензатора се изчислява според формула II.38, тъй като в този случай може да се приеме максимална хомогенност на електрическото поле.

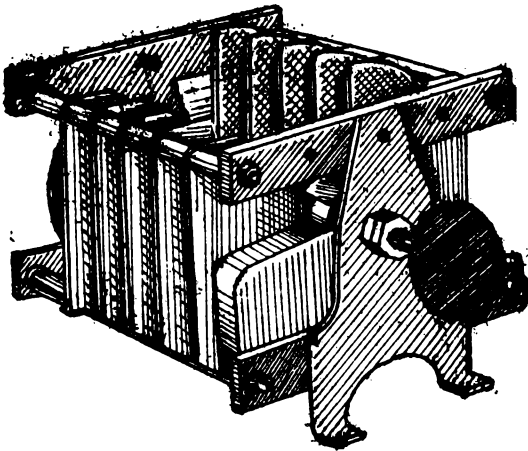


Фиг. II. 14

Дисковият кондензатор се използва като настройващ кондензатор в предавател за къси и ултра къси вълни. При средни вълни той може да се използва като свързващ или като неутрализиращ кондензатор. При средни приемливи размери на плочите капацитетът му не превишава 30 до 40 пф .

д. Променлив кондензатор със специална форма на плочите

Този тип кондензатор е даден на фиг. II. 15. Плочите му /две статорни за една роторна/ са показани схематично на фиг. II. 16. Кондензаторът може да бъде използван в различни комбинации в зависимост от свързването на



Фиг. II. 15

роторния и статорните пакети, които са изолирани един от друг.

Ако с  $C$  се означава максималният капацитет между роторните плочи и едната статорна група, ще се получат следните комбинации:

1. Ако индуктивността на трептящия кръг се свърже между двата статора /точки "1" и "3", фиг. II.16/, кондензаторът ще има максимален капацитет, равен на  $C/2$  , тъй като двете групи

са свързани последователно. При това положение кръгът ще се настройва на минимална честота  $f_1 = f_{min}$

2. Ако същата индуктивност се свърже между точките "1" и "2", т.е. между ротора и едният статорен

пакет, тогава полученият максимален капацитет ще бъде равен на  $C$  и минималната честота при затворен кондензатор  $/C_{max}/$  ще бъде

$$f_2 = 0,71 f_{min} \quad \text{II.43}$$

3. Ако индуктивността се свърже между точките "1" и "2", но така, че двата статорни пакета се свързват на късо, тогава при затворен кондензатор ще се получи максимален капацитет, равен на  $2C$ . Минималната честота ще бъде

$$f_3 = 0,5 \cdot f_{min} \quad \text{II.44}$$

По такъв начин чрез превключване на роторния и статорния пакет на кондензатора се получава една вариация на най-ниската честота, която съответствува на напълно затворен кондензатор

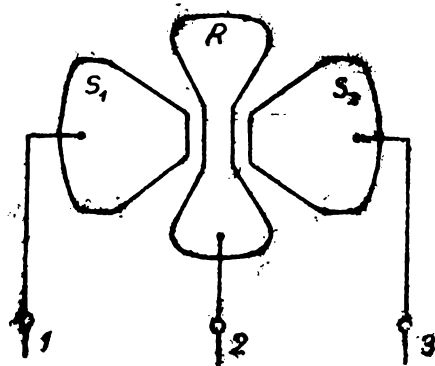
$$\frac{f_1}{f_3} = \frac{f_{min}}{0,5 f_{min}} = 2 \quad \text{II.45}$$

В конструктивно отношение този кондензатор е малко усложнен поради особената форма на роторните плочи.

Изчислението на броя на плочите, разстоянието между тях и активната им повърхност се извършва по начините, които са разглеждани го-преди.

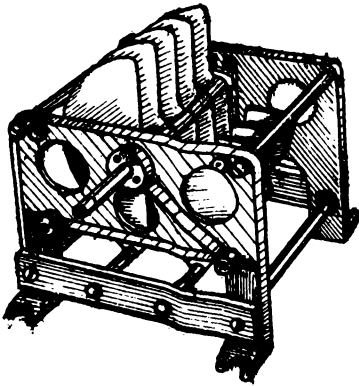
#### е. Въздушен променлив кондензатор

На фиг. II. 17а е изобразен обикновеният тип на плоския въздушен променлив кондензатор. Изменението на капацитета се осъществява чрез изменение на активната повърхност на плочите на кондензатора при постоянно разстояние  $d$  между плочите. За тази цел подвижният кондензаторен пакет /ротор/ извършва въртливо движение, като неговите пластинки навлизат между пластинките на неподвижния кондензаторен пакет /статор/.



Фиг. II. 16

въргане при който се получава максималната капацитивна стойност на кондензатора, е  $180^\circ$ . В зависимост от



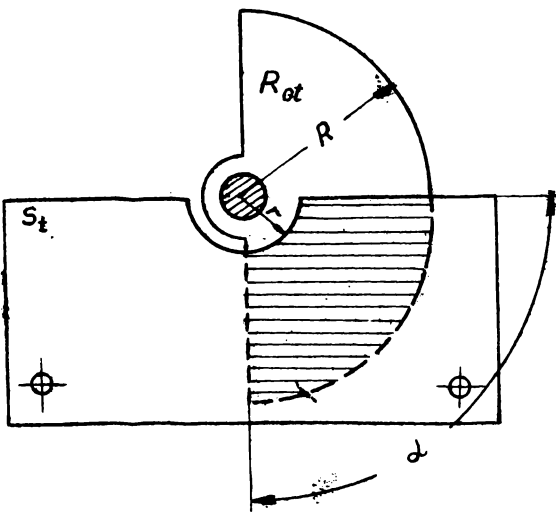
Фиг. II 17а

предназначението си променливият въздушен кондензатор може да има максимален капацитет от 50 до 3000 пф. Най-често използваните кондензатори от този вид, които се употребяват като настройващи кондензатори в радиоприемници маломощни предаватели и измерителни уреди, имат максимален капацитет от 100 до 500 пф. Разстоянието между статорните и роторните пластинки е от порядъка на 0,5 до 1,5 мм. Формата на роторните плочи се определя от характера на изменението на

капацитета на кондензатора в зависимост от ъгъла на завъртането. Различават се четири основни вида променливи въздушни кондензатори: капацитивно-линеен, вълно-линеен, честотно-линеен и логаритмичен променлив кондензатор.

### 1. Капацитивно-линеен кондензатор

Капацитивно-линейният кондензатор се състои от роторен и статорен пакет. Първият е неподвижен и пластинките му имат обикновено правоъгълна форма, докато пла-



Фиг. II 17б

стинките на роторния пакет имат формата на полукръг. Те са закрепени за роторната ос, която е лагерувана в два лагера на шасито на кондензатора. Целият роторен пакет извършва въртливо движение. По такъв начин роторните плочи авлизат между статорните, активната повърхност на плочите се изменя, а заедно с нея изменя стойността си и капацитетът на кондензатора. Ако се приеме, че при ъгъ-



ла на завъртането  $\alpha = 0$  кондензаторът е напълно отворен, тогава в този момент активната повърхност на плочите ще бъде равна на нула и капацитетът на кондензатора ще е минимален, т.е. равен на началния капацитет. Точната стойност на началния капацитет не може да се определи чрез изчисление. Тя зависи от капацитета на статорните плочи към кондензаторното шаси, с което е свързан роторният пакет, от диелектричната константа на изолационния материал, който носи статорният пакет, и от капацитета на роторния пакет в отворено положение спрямо статора.

Когато кондензаторът се затвори напълно  $|\alpha = \pi|$ , капацитетът приема максималната си стойност  $C = C_{\text{макс}}$ . Във всяко междинно положение  $0 < \alpha < \pi$  капацитетът има определена стойност, която расте линейно с ъгъла  $\alpha$ . Поради това именно кондензаторът се нарича капацитивно-линеен.

Че това е така може да се види от следните изчисления:

Активната повърхност на плочите е (фиг. 17) I 46

$$F = \frac{R^2 - r^2}{2} \cdot \alpha, \quad \text{I 46}$$

а следователно капацитетът /по уравнение II 40/

$$C = (n-1) \cdot \frac{(R^2 - r^2) \alpha}{2 \cdot 4\pi d \cdot 0,9} = n\varphi \quad \text{I 47}$$

Всички размери в горните формули са дадени в см.

Максималният капацитет се получава при  $\alpha = \pi$ :

$$C_{\text{макс}} = (n-1) \cdot \frac{R^2 - r^2}{8d \cdot 0,9} n\varphi. \quad \text{I 48}$$

На фиг. 17 б са дадени роторната и статорна плоча на капацитивно-линеен кондензатор при  $\alpha = 90^\circ$  на завъртане  $\alpha = 90^\circ$ .

На фиг. 17 в е изобразена графично зависимостта на  $C$  от  $\alpha$ . Както се вижда, кривата е напълно линейна. Само началният ѝ участък съдържа известна нелинейност която се получава вследствие разсеяно електрическо поле при почти напълно отворен кондензатор.

При  $\alpha = 0$  имаме началния капацитет на кондензатора  $C_0$ .

Пример. Да се изчисли кондензатор за настройка на трептящ кръг на радиоприемник със следните данни:

$$C_{\text{макс}} = 400_{\text{pF}} \quad R = 5 \text{ cm} ; \quad r = 1 \text{ cm}$$

Решение. От уравнението

$$C_{\text{макс}} = (\pi - 1) \frac{R^2 - r^2}{8d \cdot 0,9}$$

се получава следната зависимост между броя на плочите  $n$  /статорни + роторни плочи/ и разстоянието между тях  $d$ :

$$\frac{n-1}{d} = C_{\text{макс}} \frac{8 \cdot 0,9}{R^2 - r^2}$$

Ако тук въведем горните данни на кондензатора, ще се получи

$$\frac{n-1}{d} = 400 \cdot \frac{7,2}{24} = 120$$

При

$$d_1 = 0,5 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$$

получаваме

$$n_1 = 7 ;$$

при

$$d_2 = 1 \text{ mm} = 0,1 \text{ cm}$$

получаваме

$$n_2 = 13$$

Ако дебелината на плочите е 0,5 mm , пълната височина на пакета ще бъде

$$h_1 = 7 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,5 = 6,5 \text{ mm} ,$$

$$h_2 = 13 \cdot 0,5 + 12 \cdot 1 = 18,5 \text{ mm} .$$

Капацитивно-линейният кондензатор е удобен, понеже при малък обем има значителен максимален капацитет. Неговото неудобство обаче се състои именно в това, че капацитетът му се изменя пропорционално на ъгъла  $\alpha$ . И наистина ако се включи към трептящ кръг, тогава линейната промяна на  $C$  с  $\alpha$  ще бъде причина за нелинейно изменение на дължината на собствената вълна на трептящия кръг с  $\alpha$ . По-точно  $\lambda$  ще се изменя с корен от  $\alpha$ :

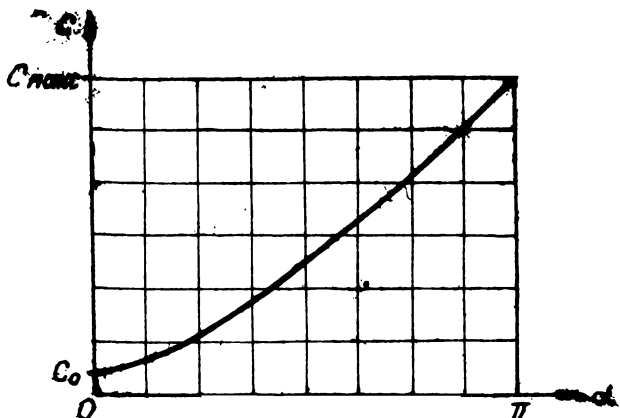
$$\lambda = \kappa \sqrt{C} = \kappa \sqrt{\alpha'},$$

тъй като

$$C = \kappa' \alpha$$

Ако следователно капацитивно-линейният кондензатор се използва за настройка на трептящите кръгове на радиоприемник,

тогава разположението на станциите по скалата ще бъде напълно нелинейно. В началото на скалата станциите ще бъдат разположени много нагъсто /при малки стойности на  $\alpha$  /, а в края на скалата, когато кондензаторът се почти затвори, станциите ще бъдат разредени. Във всеки случай една



Фиг. VI. 17в

и съща промяна в капацитета на кондензатора води до различни по стойност изменения на собствената дължина на вълната на трептящия кръг.

За да се избегне това неудобство, прибягва се до специален вид кондензатори, чиято форма на плочките се подбира така, че собствената вълна или собствената честота на трептящия кръг, към който е включен променливият кондензатор, да се изменя линейно с ъгъла на завъртането  $\alpha$ . По такъв начин се получава вълново-линейният и честотно-линейният кондензатор.

## 2. Вълново-линеен кондензатор

Тъй като според

$$\lambda = \kappa \sqrt{C}, \quad \text{II. 49}$$

дължината на вълната на трептящия кръг се изменя с корен от  $C$ , то  $C$  трябва да се мени с квадрата на ъгъла на завъртането, т.е.

$$C = K_1 \cdot \alpha^2 \quad \text{II. 50}$$

В такъв случай

$$\lambda = \kappa \sqrt{C} = \kappa \sqrt{K_1 \alpha^2} = \kappa' \alpha, \quad \text{II. 51}$$

т.е. дължината на вълната на трептящия кръг ще бъде пропорционална на ъгъла  $\alpha$ .

Тъй като трябва да бъде изпълнено условието при

$$\alpha = \mathcal{X} \longrightarrow C = C_{\text{макс}},$$

то константата  $K_1$  може да се намери именно от това гранично условие:

$$K_1 = C_{\text{макс}} \left( \frac{1}{\mathcal{X}} \right)^2 \quad \text{II. 52}$$

В такъв случай уравнение II. 50 може да се напише във вида

$$C = C_{\text{макс}} \left( \frac{\alpha}{\mathcal{X}} \right)^2 \quad \text{II. 53}$$

Естествено при  $\alpha = 0, C \neq 0$ , а не е 0, както би следвало от горната формула:

$$C = C_0,$$

т.е. при отворен кондензатор собствената дължина на вълната на кръга ще бъде минималната. Тя се определя от  $C_0$ .

Тъй като вариацията в капацитета се реализира благодарение на вариацията в активната площ кондензатора, то очевидно е, че в последната трябва да се изменя по същия закон с ъгъла на завъртането, както капацитетът на кондензатора, т.е.

$$F = F_{\text{макс}} \left( \frac{\alpha}{\mathcal{X}} \right)^2, \quad \text{II. 54}$$

където  $F_{\max}$  представлява максималната площ, а  $F$  съответствува на площта при ъгъл  $\alpha$ . При  $\alpha = 0$  имаме  $F_0$  където  $F_0$  е така наречената "начална площ"

Уравнение II 54 се диференцира спрямо  $\alpha$  и по такъв начин се получава елементарната площ.

$$dF = F_{\max} \cdot \frac{2\alpha}{\pi^2} \cdot d\alpha \quad \text{II.55}$$

От друга страна  $dF$  е свързано с  $R$  и  $d\alpha$  геометрично така:

$$dF = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) d\alpha \quad \text{II.56}$$

От приравняването на уравнения II.55 и II 56 се получава следната зависимост на радиусе  $R$  от ъгъл  $\alpha$

$$F_{\max} \frac{2\alpha}{\pi^2} d\alpha = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) d\alpha, \quad \text{II 57}$$

откъдето

$$R = \sqrt{\frac{4F_{\max}}{\pi^2} \cdot \alpha + r^2} \quad \text{II.58}$$

Както се вижда, радиусът на кондензаторната плоча не е постоянен, а е функция от ъгъла на завъртането  
При

$$\alpha = \pi \quad C = C_{\max}, \quad F = F_{\max} \quad \text{и} \quad R = R_{\max}$$

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{4F_{\max}}{\pi} + r^2} \quad \text{II 59}$$

Съответната максимална активна площ при  $\alpha = \pi$  е:

$$F_{\max} = \frac{R_{\max}^2 - r^2}{4} \cdot \pi \quad \text{II 60}$$

Ако въведем уравнението за  $F_{\max}$  в израза за  $R$  /уравнение II.58/, ще получим зависимостта на  $R$  от  $R_{\max}$  и  $\alpha$ :

$$R = \sqrt{(R_{\max}^2 - r^2) \frac{\alpha}{\pi} + r^2} \quad \text{II.60a}$$

На  $F_{\max}$  /при  $\alpha = \pi$ / съответствува максималният капацитет  $C_{\max}$  на кондензатора.

$$C_{\max} = (n - 1) \frac{R_{\max}^2 - r^2}{\text{в. д. 0,9}} \pi \varphi \quad \text{II.61}$$

Както се вижда от последното уравнение, вълново-линейният кондензатор има два пъти по-малък максимален капацитет, отколкото капацитивно-линейният кондензатор, при условие че в двата случая имаме еднакъв брой плочи, еднакви радиуси  $R$  и  $r$  и еднакви разстояния между плочите, т.е. при условие, че размерите на двата кондензатора са еднакви и същи.

Пример. Да се изчисли вълново-линеен кондензатор за настройка на трептящ кръг със същите основни данни както капацитивно-линейният кондензатор, който е разгледан в предшествувания раздел, т.е.

$$C_{\max} = 400 \text{ пФ} \quad R_{\max} = 5 \text{ см} ; \quad r = 1 \text{ см}$$

Решение. От уравнение II.60a се определя радиусът в зависимост от ъгъла

$$R = \sqrt{(25 - 1) \frac{\alpha}{\pi} + 1} = \sqrt{24 \frac{\alpha}{\pi} + 1}$$

Стойностите за  $R$  са дадени в таблица II.8. В същата таблица са дадени за сравнение стойностите на  $R$  за другите видове кондензатори, които са изчислени по-долу в зависимост от ъгъла  $\alpha$ . В последната графа е дадено отношението между максималния капацитет на съответния тип въртящ кондензатор спрямо максималния капацитет на капацитивно-линейния кондензатор.

На фиг. II.18a са показани графически плочите на различните видове кондензатори.

Броят на плочите и разстоянието между тях се определят от уравнението

$$400 = (n-1) \frac{25-1}{14,4 \cdot d} ,$$

$$\frac{n-1}{d} = 400 \cdot \frac{14,4}{24} = 240$$

Ако се избере

$$d_1 = 0,5 \text{ мм} = 0,05 \text{ см} ,$$

получаваме

$$n_1 = 19 ,$$

а ако

$$d_2 = 1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см} ,$$

получаваме

$$n_2 = 25$$

При дебелина на плочите 0,5 мм, височината на кондензаторния пакет ще бъде

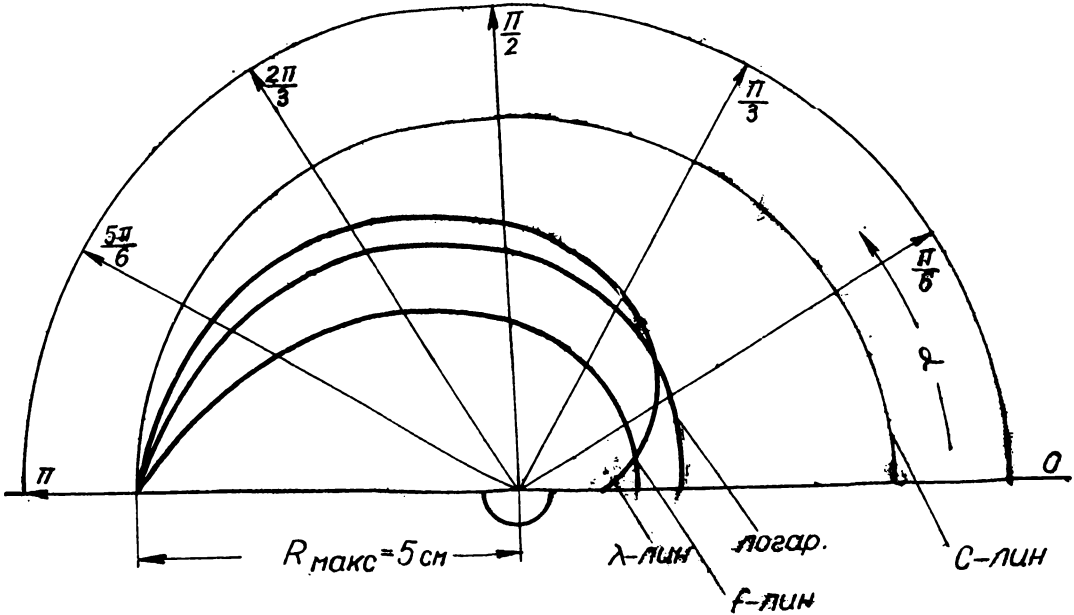
$$h_1 = 19 \cdot 0,5 + 12 \cdot 0,5 = 12,5 \text{ мм} ;$$

$$h_2 = 25 \cdot 0,5 + 24 \cdot 1 = 36,5 \text{ мм}$$

Таблица II.8

$d$	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{5}{8}$	1	$\frac{C_{\text{мин}}}{C_{\text{макс}}}$
C-мм	5	5	5	5	5	5	5	1
$\lambda$ -мм	1	2,24	3	3,6	4,13	4,58	5	1/2
f-мм	1,57	1,76	2	2,34	2,85	3,65	5	0,28
логар.	2,11	2,4	2,75	3,26	3,69	4,28	5	0,44

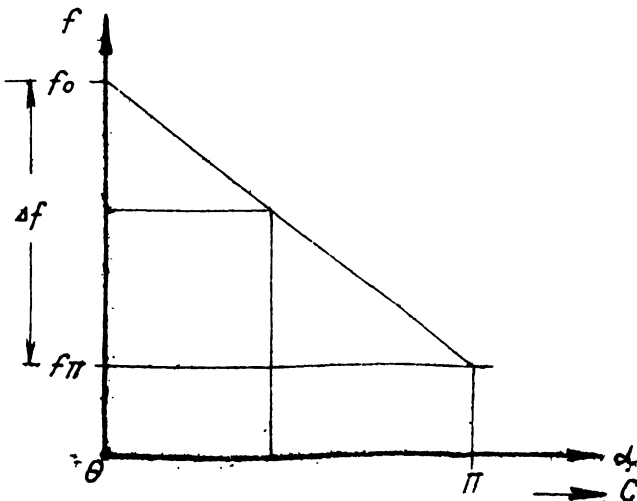
Обикновено само роторните плочи на кондензатора се изработват в определената по горната таблица форма, докато статорните /неподвижните/ плочи имат полукръглоформа с радиус, равен на  $R_{\max}$



фиг. II. 18 а

5. Честотно-линеен кондензатор

Формата на плочите на честотно-линейния кондензатор е подбрана така, че собствената честота на трептящия кръг към който е включен честотно-линейният кондензатор, да се изменя линейно с ъгъла на завърта



фиг. II 18 б

то. Приемаме, че при  $\alpha = 0$  кръгът е настроен на най-високата честота  $f_0$ , а при  $\alpha = \pi$  /затворен кондензатор/ кръгът дрепне с най-ниската честота  $f_\pi$ .

Приемаме, че при  $\alpha = 0$  кръгът е настроен на най-високата честота  $f_0$ , а при  $\alpha = \pi$  /затворен кондензатор/ кръгът дрепне с най-ниската честота  $f_\pi$ .



При напълно створен кондензатор в действие е само на чалният капацитет на кондензатора  $C_0$ . На него съответствува активната площ  $F_0$ .

Както се вижда от фиг. II. 18 б, с растящо  $\alpha$  и  $C$  честотата  $f$  трябва да спада линейно. А при  $\alpha = 0$  ще имаме  $C = 0$  и  $f = f_0$ .

Тъй като по начало честотата се изменя пропорционално на  $\frac{1}{\sqrt{C}}$ , то очеви но, че за да бъде  $f = k \cdot \alpha$   $C$  трябва да зависи от  $\alpha$  според уравнението

$$C = k_1 \frac{1}{\alpha^2} \quad \text{II. 62}$$

Честотният интервал  $\Delta f$  се дефинира така

$$\Delta f = f_0 - f_x \quad \text{II. 63}$$

а честотната вариация  $p$  се дефинира

$$p = \frac{f_0}{f_x} \quad \text{II. 64}$$

Честотата е свързана с капацитета  $C$  съгласно уравнението

$$f = k \frac{1}{\sqrt{L(C + C_0)}} \quad \text{или} \quad f^{-2} = k \left[ L(C + C_0) \right] \quad \text{II. 65}$$

където  $C_0$  е началният капацитет

Тогава и активната площ на кондензатора трябва да бъде свързана с честотата по аналогичен закон

$$k_1 (F + F_0) = f^{-2} \quad 66$$

От друга страна от фиг. II. 18 в следва следното уравнение

$$f = f_0 - (f_0 - f_x) \frac{\alpha}{x} = f_0 - \Delta f \frac{\alpha}{x} \quad \text{II. 67}$$

или

$$F - F_0 = k \left( f_0 - \Delta f \frac{\alpha}{x} \right)^{-2} \quad \text{II. 68}$$

От уравнението II.68 се определя елементарната площ в зависимост от елементарния ъгъл  $d\alpha$

$$dF = \frac{\kappa \cdot 2 \frac{\Delta f}{\pi}}{\left[ f_0 - \Delta f \frac{\alpha}{\pi} \right]^3} \cdot d\alpha \quad \text{II.69}$$

За елементарната площ обаче имаме, както в предишния случай, следна тя геометрична зависимост от  $d\alpha$

$$dF = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) d\alpha \quad \text{II.70}$$

От приравняването на уравнения II.69 и II.70 следва

$$R^2 - r^2 = \kappa \cdot \frac{4\Delta f}{\pi \left( f_0 - \Delta f \frac{\alpha}{\pi} \right)^3} \quad \text{II.71}$$

или

$$R^2 = \frac{4\kappa\Delta f}{\pi} \cdot \frac{1}{\left( f_0 - \Delta f \frac{\alpha}{\pi} \right)^3} + r^2 \quad \text{II.72}$$

Константата  $\kappa$  се определя от граничното условие

$$\alpha = \pi ,$$

при което

$$R = R_{\text{макс}} , \quad \text{II.73}$$

$$R_{\text{макс}}^2 = \frac{4\kappa\Delta f}{\pi} \cdot \frac{1}{f_0^3} + r^2 \quad \text{II.74}$$

или

$$K = \frac{R}{4} (R_{\text{max}}^2 - r^2) \frac{f_0^2}{\Delta f} \quad \text{II.75}$$

Ако се въведе константата  $K$  в уравнение II.72, получава се окончателното уравнение за радиуса на плочата

$$R = \sqrt{\frac{R_{\text{max}}^2 - r^2}{\left[ \frac{f_0 - \Delta f \frac{R}{4}}{f_0} \right]^2} + r^2} \quad \text{II.76}$$

$$R = \sqrt{\frac{R_{\text{max}}^2 - r^2}{\left[ \rho - (\rho - 1) \frac{\alpha}{R} \right]^2} + r^2} \quad \text{II.77}$$

където

$$\rho = \frac{f_0}{f_0 - \Delta f}$$

Максималната активна мощ се получава при затворен кондензатор, т.е. при  $\alpha = R$  :

$$P_{\text{max}} = \int_0^R \frac{R^2 - r^2}{2} d\alpha \quad \text{II.78}$$

Ако тук се въведе за  $R$  уравнение II.77, следва, че

$$F_{\text{макс}} = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2} \left[ \frac{R_{\text{макс}}^2 - r^2}{\left[ \rho - (\rho - 1) \frac{\alpha}{\pi} \right]^3} \right] d\alpha \quad \text{II.79}$$

Решението на този интеграл дава максималната активна площ:

$$F_{\text{макс}} = \frac{\pi}{4} (R_{\text{макс}}^2 - r^2) \frac{\rho + 1}{\rho^2} \quad \text{II 80}$$

и максималният капацитет следва от

$$C_{\text{макс}} = (n-1) \frac{1}{16. d. 0,9} (R_{\text{макс}}^2 - r^2) \frac{\rho + 1}{\rho^2} \text{ пф} \quad \text{II.81}$$

Тъй като

$$\frac{f_0}{f_{\pi}} = \rho = \sqrt{\frac{C_0 + C_{\text{макс}}}{C_0}} = \sqrt{1 + \frac{C_{\text{макс}}}{C_0}}, \quad \text{II 82}$$

$$\rho^2 - 1 = C_{\text{макс}} / C_0 \quad \text{II.83}$$

Пример. Да се изчисли честотно-линеен кондензатор с максимален капацитет и геометрични данни както в предните случаи.

$$C_{\text{макс}} = 400 \text{ пф} ; \quad R_{\text{макс}} = 5 \text{ см} \quad r = 1 \text{ см}$$

Честотната вариация

$$\rho = \frac{f_0}{f_{\pi}} = 2,5$$

Радиусът на плочата се намира според уравнение II.77:

$$R = \sqrt{\frac{25 - 1}{25 - \left(1,5 \frac{\alpha}{\pi}\right)^3} + 1} = \sqrt{\frac{24}{2,5 - \left(1,5 \frac{\alpha}{\pi}\right)^3} + 1}$$

Изчислените стойности за  $R$  в зависимост от  $\alpha$  са дадени в таблица II.8, а формата на плочата е нанесена в общата графика на фиг. II.18 а.

Максималният капацитет се получава от уравнение II.81, който е 28 % от максималния капацитет на капацитивно-линейния кондензатор.

Отношението между броя на плочите и разстоянието между тях се получава от:

$$\frac{n-1}{d} = \frac{C_{\max} \cdot 16 \cdot 0,0 \cdot p^2}{(R_{\max}^2 - p^2)(p+1)}$$

Ако тук се въведат данните за кондензатора

$$C_{\max} = 400 \text{ пФ}, \quad R = 5 \text{ см} \quad \text{и} \quad r = 1 \text{ см},$$

то

$$\frac{n-1}{d} = \frac{400 \cdot 16 \cdot 0,9 \cdot 6,25}{(25-1) \cdot 3,5} = 430.$$

Ако се избере

$$d_1 = 0,5 \text{ мм} = 0,05 \text{ см},$$

получаваме

$$n \approx 22,$$

а ако

$$d_2 = 1 \text{ мм} = 0,1 \text{ см},$$

получаваме

$$n = 44$$

При дебелина на плочите 0,5 мм височината на пакета ще бъде

$$h_1 = 0,5 \cdot 22 + 0,5 \cdot 21 = 21,5 \text{ мм};$$

$$h_2 = 0,5 \cdot 44 + 1,43 = 65 \text{ мм}$$

#### 4. Логаритмичен кондензатор

Формата на плочите на логаритмичния кондензатор се избира така, че да се осигури една логаритмична зависимост между капацитета на кондензатора и ъгъла на завъртането. При начален капацитет  $C_0$  общият капацитет на кондензатора ще бъде

$$C_{об} = C + C_0 \quad \text{II.84}$$

Логаритмичната зависимост между  $C$  и  $\alpha$  може да се изрази в уравнението

$$C + C_0 = C_0 \cdot e^{K\alpha} = (C_0 + C_{макс}) e^{-K(\pi - \alpha)} \quad \text{II.85}$$

Константата  $K$  се определя от това уравнение по следния начин:

$$e^{K\alpha} - [K(\pi - \alpha)] = \frac{C_0 + C_{макс}}{C_0}; \quad \text{II.86}$$

$$K\pi \cdot \frac{C_0}{C_0} \cdot \frac{C_{макс}}{C_0} \quad \text{II.87}$$

$$K \frac{1}{\pi} \cdot \frac{C_0}{C_0} \cdot \frac{C_{макс}}{C_0} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\pi} \quad \text{II.88}$$

На началния капацитет  $C_0$  отговаря началната активна площ  $F_0$ . Следователно

$$F = F_0 \cdot e^{K\alpha} \quad \text{II.89}$$

Елементарната активна площ следва от уравнение

$$dF = F_0 \cdot K \cdot e^{K\alpha} \cdot d\alpha, \quad \text{II.90}$$

а елементарната активна площ се получава геометрично от

$$dF = \frac{1}{2} (R^2 - r^2) d\alpha. \quad \text{II.91}$$

Конструкция на радиоапарат, рис 7а

От приравняването на двете уравнения получаваме

$$2F_0 K e^{K\alpha} = R^2 - r^2 \quad \text{II.92}$$

Радиусът на плочата следва от

$$R = \sqrt{2F_0 K e^{K\alpha} + r^2} \quad \text{II.93}$$

При  $\alpha = \pi$  радиусът получава своята максимална стойност

$$R_{\text{макс}} = \sqrt{2F_0 K e^{K\pi} + r^2}. \quad \text{II.94}$$

Оттук следва, че

$$F_0 = \frac{R_{\text{макс}}^2 - r^2}{2K e^{K\pi}} \quad \text{II.95}$$

Ако  $F_0$  се въведе в уравнение II.93, получава се окончателното уравнение за радиуса  $R$  :

$$R = \sqrt{(R_{\text{макс}}^2 - r^2) e^{K(\alpha - \pi)} + r^2} \quad \text{II.96}$$

Тук се въвежда константата  $q$  според уравнение II.88. Тогава  $R$  приема следния вид:

$$R = \sqrt{(R_{\text{макс}}^2 - r^2) q^{\frac{\alpha - \pi}{\pi}} + r^2} \quad \text{II.97}$$

Максималната активна площ следва от

$$q = \frac{C_0 + C_{\text{макс}}}{C_0} = 1 + \frac{C_{\text{макс}}}{C_0} \quad \text{II.98}$$

$$\frac{C_{\text{макс}}}{C_0} = q - 1 = \frac{F_{\text{макс}}}{F_0} \quad \text{II.99}$$

$$F_{\text{макс}} = F_0 (q-1) = (q-1) \frac{R_{\text{макс}}^2 - r^2}{2\kappa \cdot e^{\kappa x}}. \quad \text{II.100}$$

Ако и тук въведем

$$\kappa = \frac{1}{x} \ln q, \quad \text{II.101}$$

$$F_{\text{макс}} = (q-1) \frac{R_{\text{макс}}^2 - r^2}{2 \cdot \frac{1}{x} \ln q \cdot q} = \frac{x}{2 \ln q} \left(1 - \frac{1}{q}\right) (R_{\text{макс}}^2 - r^2). \quad \text{II.102}$$

С помощта на максималната площ  $F_{\text{макс}}$  намираме максималния капацитет на кондензатора :

$$C_{\text{макс}} = (n-1) \frac{R_{\text{макс}}^2 - r^2}{8.0,9.d} \cdot \frac{1 - \frac{1}{q}}{\ln q} n\phi \quad \text{II.103}$$

Освен това

$$\frac{C_{\text{макс}}}{C_0} = q - 1, \quad \text{оттук следва}$$

оттук следва  $C_0$ .

Капацитетът на кондензатора се изменя следователно с ъгъла  $\alpha$  по следното уравнение

$$C = C_0 \cdot e^{\alpha \frac{\ln q}{x}} = C_0 \cdot e^{\kappa \alpha} \quad \text{II.104}$$

Дължината на вълната на третия кръг, към който е включен логаритмичният кондензатор, се изменя съгласно уравнението

$$\lambda = \lambda_0 \cdot e^{\alpha \frac{\ln q}{2x}} \quad \text{тъй като } \lambda = \kappa \cdot r \quad \text{II.105}$$



Собствената честота на същия трептящ кръг е дадена чрез следната зависимост:

$$f = f_0 e^{-\alpha \frac{\ln q}{2\pi}}, \text{ където } f = k'' \frac{1}{\sqrt{C}}, \text{ II.106}$$

### Конструкция на променливия кондензатор

От конструктивно гледище променливите кондензатори се различават главно по начина на закрепването на роторните и статорни пластини.

Високата стабилност на капацитет на кондензаторите се получава, когато статорният и роторният пакет се фрезозат от масивно метално парче (фиг. II. 19а). За тази цел се използва масивна алуминиева отливка, която се обработва повърхностно и след това се фрезоза едновременно с няколко фрези. Последните изкопават въздушните разстояния между отделните плочи на кондензаторния пакет. Дебелината на плочите е от 2 до 3 мм, поради което теглото на този вид кондензатори е твърде значително. Значителният разход на метал и сложността на обработката оскъпяват производството. В днешно време този вид кондензатори се използват само в редки и специални случаи.

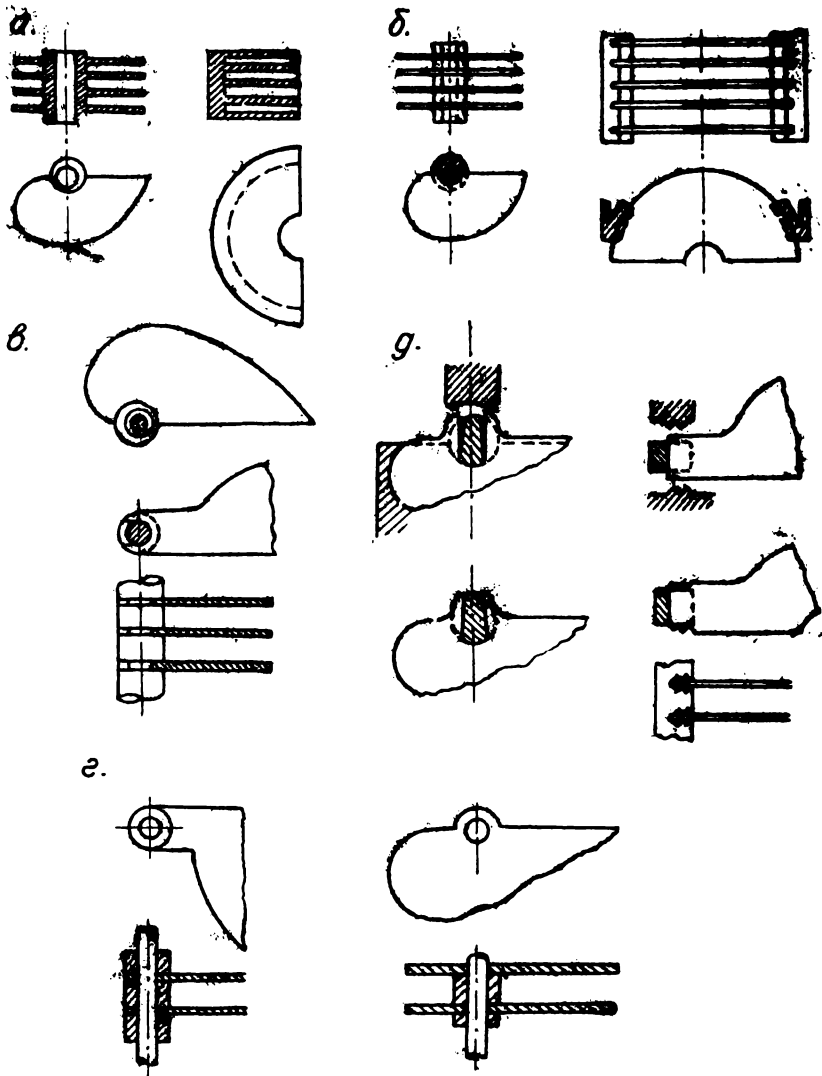
Твърде голямо приложение намират променливите кондензатори, при които статорният и роторният пакет се монтират от отделни пластини, щанцовани от листов алуминий или месинг. Закрепването на тези пластини към оста на ротора или към стойките на статора се извършва по следните начини:

1. Заливане на пластините със сплав от олово и калай или калай и алуминий. Пластините се поставят заедно с оста в специален калъп който се напълва с течната сплав под налягане. След изстиването се установява, че плочите са здраво свързани с оста.

При използването на месингови плочи се получава окисляване на повърхността им вследствие високата температура, при която се извършва заливането. Необходимо е да се извърши щателно почистване с киселина, а да се измие добре окисеният пласт, за да се отстранят следите от киселината, която предизвиква корозия на пластините. Кондензаторите от този тип се отличават със значително тегло. Характерен е тук добрият контакт

между пластините и оста на ротора, поради което а  
твърдото съпротивление, а заедно с него и ъгълът и  
губите на кондензатора си остават сравнително мал  
/фиг. II.19 б/.

2. Закрепване чрез запойка. Този начин е по  
на фиг. II.19 в. Пластините се поставят в прорез



Фиг. II.19

роторната ос или на стойките на статора и се закреп  
чрез запойка с композиция от калай и олово. Този к

струкция е по-лека, отколкото разглежданата по-горе. След запойката пакетът се почиства с киселина и промива.

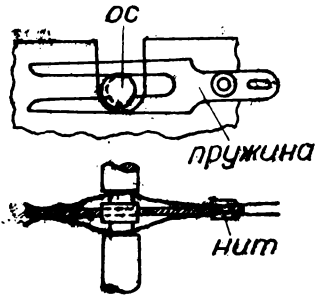
3. Закрепване с помощта на шпилки и разделителни втулки /фиг. II.19 г/. Тази конструкция е пригодна за изработка на големи кондензатори. Отличава се /при добре подобрани размери и материали за плочите и втулките/ със значителна стабилност на капацитета, обаче монтажът ѝ е твърде сложен и скъп, поради което се практикува само при изработка на единични или малък брой кондензатори. Разделителните втулки трябва да са изработени с извънредно голяма точност /толеранси във височината 0,01 до 0,02 мм/. В противен случай, особено при голям брой пластини, величината на въздушния процеп може значително да се отклони от зададената стойност. Поради повишеното контактно съпротивление ъгълът на загубите при високи честоти е сравнително висок.

4. Закрепване посредством занитване или развальцоване /фиг. II. 19 д/. Както при начина на запойването и тук пластините на статора и ротора са поставят в прорези на оста или стойката. При това част от пластината остава извън прореза и при занитването със специално приспособление се сплесква и закрепва към оста. Тази конструкция е значително по-проста, отколкото всички разглеждани по-горе, обаче не осигурява достатъчно висока стабилност на капацитета. Тук пластините са закрепени с много малка част от своята повърхност към оста, поради което те се поддават лесно на механични вибрации. Преходното съпротивление между плочите и оста има значителна стойност.

Изолацията между статор и ротор може да се осъществи, като статорният пакет се закрепва на подходяща плоча от изолационен материал. На същата плоча се закрепват и лагерите на ротора. В днешно време този начин се използва за големи кондензатори, единично производство, както и за малки въздушни кондензатори. За кондензатори със значителен капацитет от серийното производство се използва метално шаси, към което се закрепва роторният пакет. Статорният пакет се закрепва посредством изолация от твърд диелектрик, обикновено високочестотна керамика или качествен перитнакс. За качествени лабораторни кондензатори се използва кварцова изолация.

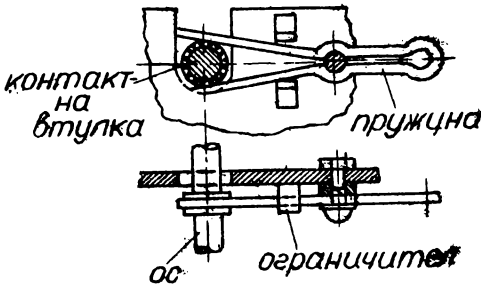
В конструкцията на променливия кондензатор се отделя особено внимание на контактният извод на ротора /фиг. II.20/. Въпреки че роторните пластини контактуват с неподвижното метално шаси през лагерите на ротор

ната ос, този контакт не е достатъчно сигурен, особено като се има предвид смазването на лагерите. Използуването на федернайби подобрява до известна степен контакта, но по-голяма сигурност се получава при използването на плоска пружина, монтирана към шасито на кондензатора и триеща се в роторната ос



Фиг. II. 20 а

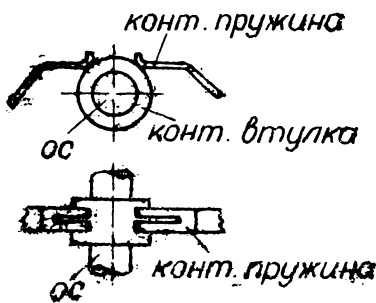
дериращ материал, като алпака, фосфор-бронз, или федер-месинг /фиг. II. 20 б/. Въпреки своите недостатъци



Фиг. II. 20 б

тези два вида контактни изводи се използват найчесто в променливите кондензатори за радиоприемници.

В по-стабилните, предназначени за измерителни цели променливи кондензатори се използват контактни втулки, които се наляват върху роторната ос и контактуват с една или две контактни пружини /фиг. II. 20 в/. Пружиниращият контакт, макар и с по-голяма триеща повърхност, не е задоволителен при кондензатори за ултракъси вълни. Ето защо в много случаи оста на ротора се свързва с помощта на спирална пружина с контактното перо /фиг. II. 20 г/. Тазя конструкция има този недостатък, че се увеличава индуктивността на кондензатора. Освен това механическата якост на пружината е недостатъчна



Фиг. II. 20 в

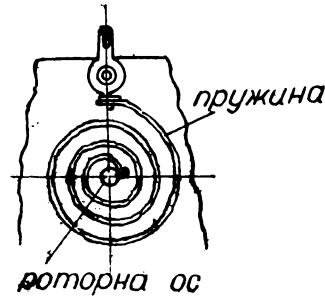
тази конструкция има този недостатък, че се увеличава индуктивността на кондензатора. Освен това механическата якост на пружината е недостатъчна

за продължителна работа. При кондензатори за УКВ се използва дадената на фиг. II. 20 д конструкция: разряване, пружинираща втулка се притиска към роторната ос с помощта на спирална пружина.

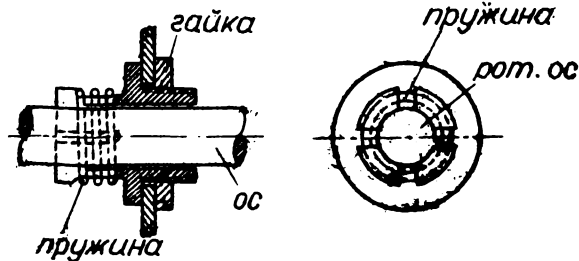
Освен активното съпротивление на преходния контакт в оста на ротора за високи честоти е от значение и контактът между кондензаторните пластини и оста на ротора, респективно стойката на статора. Последното съпротивление може да се намали значително, ако пластините на кондензатора се запойват. Съпротивлението на металните части на кондензатора нараства значително при честоти над  $10^7$  Hz вследствие скин-ефекта. Ето защо пластините на кондензатора за УКВ в много случаи се посребряват.

За сигурната работа на кондензатора от голямо значение е конструкцията на лагерите. При използване на обикновени втулковидни лагери се получава неизбежен луфт в радиална посока.

Луфтът в аксиална посока се отстранява с помощта на различни допълнителни устройства. На фиг. II. 21 са показани няколко вида лагери на променливи кондензатори. В някои случаи осовото преместване на роторния спрямо статорния пакет за изравняване на въздушните разстояния между роторните и статорните пластини се осъществява чрез преместване на статора. В други случаи се предвижда възможност за осово отместване на роторния пакет. За тази цел оста на ротора лагерува на сачма, която е закрепена за плоска пружина или лагерен винт. Натягането на пружината или завиването на лагерния винт позволяват осово отместване на роторния пакет.

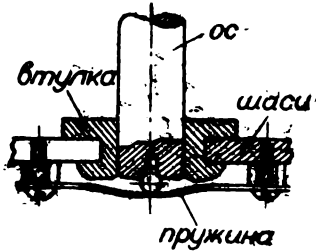


Фиг. II. 20 г



Фиг. II. 20 д

Разстоянието между пластините на кондензаторите за радиоприемници е от порядъка на 0,4 до 0,6 мм. Малката въздушна междина затруднява монтажа на кондензатора и се отразява неблагоприятно върху стабилността на неговия капацитет. В замѣна на това при малки въздушни междини се получават малки размери на кондензатора. При кондензатори за УКВ, където максималният капацитет е сравнително малък, въздушната междина може да се увеличи до 1 мм. При кондензатори със специална форма на пластините се препоръчват следните размери на въздушните междини в зависимост от дебелината  $\delta$  на пластината и от максималния ѝ радиус  $R_{max}$ :



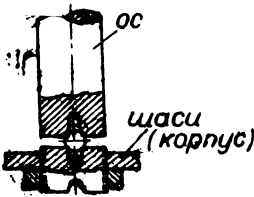
Фиг. II.21a

мери на въздушните междини в зависимост от дебелината  $\delta$  на пластината и от максималния ѝ радиус  $R_{max}$ :

$$\begin{aligned} \text{при } \delta > 1 \text{ мм} & \quad d \approx 0,015 R_{max} \\ \delta < 0,5 \text{ мм} & \quad d \approx 0,022 R_{max} \end{aligned}$$

При променливи кондензатори за предаватели въздушната междина се избира в съответствие с работното напрежение на кондензатора.

След цапцоването пластините се плановат от плановачи с релефна повърхност. За да се изравни зависимостта на промяната на капацитета по желаната крива



Фиг. II.21b

в зависимост от ъгъла на завъртането, крайните пластини на ротора се изработват с радиални прорези. Последните позволяват чрез изкривяване в една или друга посока да се получи корекция на кривата в желания участък. В много случаи променливите кондензатори се монтират във вид на кондензаторен блок. Последните се състоят от два или повече кондензатора с общо шаси /корпус/ или общ или

отделни роторни пакети, закрепени на една обща ос. Между отделните статорни пакети се въвеждат екрани и по този начин се отстранява нежеланата капацитивна връзка. При УКВ е от значение и индуктивната връзка

между отделните секции. Поради тази причина вместо метална роторна ос тук се използва керамична ос.

Използваните при радиоприемниците променливи кондензатори имат максимален капацитет от 360 до 500 пф. Специалните кондензатори за къси вълни имат  $C_{\max} = 120 \div 250$  пф, а кондензаторите за УКВ -  $C_{\max} = 30 \div 50$  пф. Отклонението на капацитета от зададената стойност при определен ъгъл на завъртане е обикновено  $\pm 5\%$ . Началният капацитет зависи от конструктивните особености на кондензатора и не може да се изменя в широки граници. За разгледаните видове кондензатори той е от порядъка на 10 до 15 пф.

Променливите кондензатори за измерителни цели имат по-големи максимални капацитети. В много случаи те достигат  $C_{\max} = 1000$  до 3000 пф. Тук началният капацитет е 5 до 10% от максималния.

Точността на променливите кондензатори за лабораторни цели е значително по-висока. Отклонението от номиналната стойност е приблизително  $\pm 0,01\%$ .

Използването на променливи въздушни кондензатори за мощни предавателни устройства не се препоръчва поради силното израстване на размерите им при високи работни напрежения. Вместо тях се използват напълнени с газ променливи кондензатори или вариометри.

Стабилността на капацитета на променливия кондензатор е по-ниска от тази на постоянния кондензатор. Температурният коефициент на кондензатора зависи от ъгъла на завъртането, т.е. от избраната капацитивна стойност. Той е най-голям при  $C_{\min}$ , тъй като тук температурното изменение на  $\epsilon$  на твърдия диелектрик /изолацията на статора/ оказва относително най-силно влияние. При обикновените кондензатори температурният коефициент е при  $C_{\min}$  60 до  $100 \cdot 10^{-6}$ , а при  $C_{\max}$  - 40 до  $60 \cdot 10^{-6}$ . Това се отнася за керамична изолация на статора. При използване на пертинакс температурният коефициент при  $C_{\max}$  достига 100 до  $200 \cdot 10^{-6}$ . Минимални стойности се получават за лабораторни кондензатори  $1/10$  до  $20 \cdot 10^{-6}$  при  $C_{\max}$ .

Ъгълът на загубите зависи подобно на температурния коефициент от установения капацитет на кондензатора. Той може да се намери от

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2 + \operatorname{tg} \delta_3 \quad \text{II.107}$$

Ако  $C$  е установеният капацитет на променливия кондензатор, а

$\omega$  - ъгловата честота, тогава

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \omega C \cdot r \cdot 10^{-12}$$

представлява загубите в металните части на кондензатора.

$r$  е съпротивлението, което характеризира тези загуби и което се представя включено последователно с капацитета  $C$ .

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{C_d}{C} \operatorname{tg} \delta_d$$

представлява загубите в твърдия диелектрик.

$C_d$  е капацитетът, който се обуславя от твърдия диелектрик,

$\operatorname{tg} \delta_d$  е ъгълът на загубите на твърдия диелектрик.

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{1}{\omega C R} \cdot 10^{-12}$$

представлява загубите, които се обуславят от повърхностна оттечка и загуби в окисния повърхностен слой на пластините.

$R$  е еквивалентното на повърхностните загуби съпротивление, което се представя включено паралелно към  $C$

При дадена стойност за  $\omega$

$$\operatorname{tg} \delta = f(C)$$

и може да се изрази така:

$$\operatorname{tg} \delta = \kappa_1 C + \frac{\kappa_2}{C} + \frac{\kappa_3}{C} . \quad \text{II. 108.}$$

От това уравнение следва, че при известна стойност  $C$  ъгълът на загубите на променливия кондензатор ще бъде минимален. Това се потвърждава експериментално.

На фиг. II. 22 е дадена зависимостта на  $\operatorname{tg} \delta$  от  $C$  при  $f = 10^6 \text{ Hz}$  за три различни вида твърд диелектрик: ебонит, високочестотна керамика и кварц. Както се вижда, кривите имат ясно изразен минимум, който е най-нисък за кондензатора с кварцова изолация.  $\operatorname{tg} \delta$  на кварца бързо расте, ако кондензаторът работи при висока относителна влажност на околния въздух.



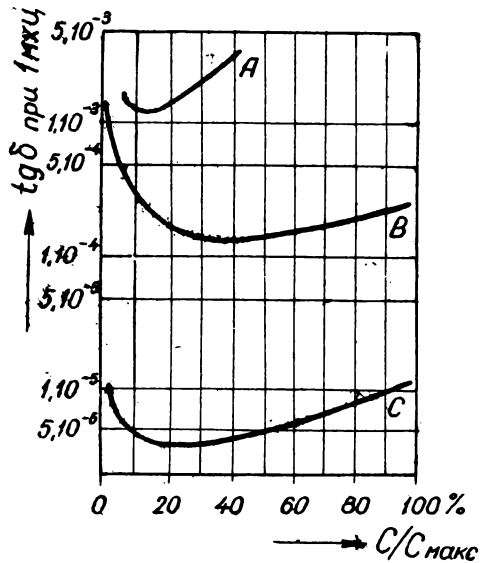
При ниски честоти  $\operatorname{tg} \delta$  пораства вследствие загубите в твърдия диелектрик и особено при повърхностните загуби. При алуминиеви пластини  $\operatorname{tg} \delta$  се увеличава 20 до 50 пъти поради тънкия окисен пласт на повърхността на пластините. В това отношение кондензаторите с месингови пластини са по-качествени.

### Въздушни и въздушно-слядени полупроменливи кондензатори

Въздушните полупроменливи кондензатори се използват за донастройки на резонансни кръгове. Те представляват малки въздушни променливи кондензатори, при които е предвидена възможност за фиксиране на всяко избрано положение на ротора, което гурява желанието за донастройката капацитет. В много случаи фиксацията се извършва чрез заливане с лак или компаунд на въздушните междин между ротора и винта, по който се движи последният.

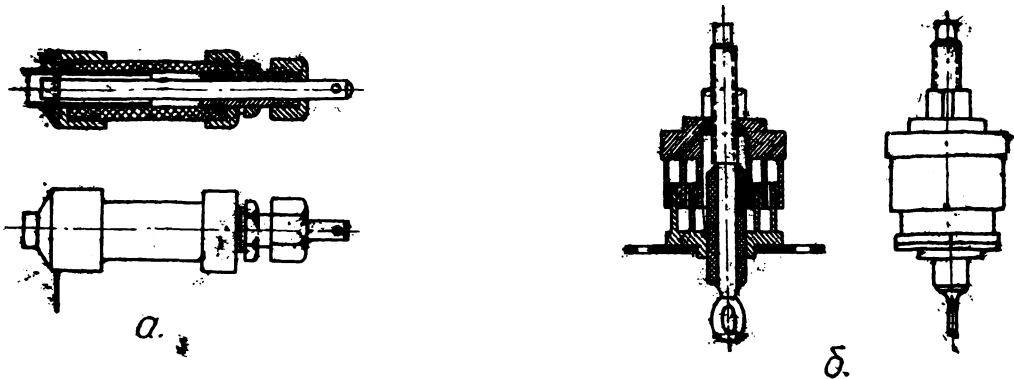
На фиг. II. 22 а са дадени два цилиндрични кондензатора, при които увеличаването на капацитета се осъществява чрез въвеждане на метална тръбичка във външната метална тръба. По този начин се изменя активната повърхност, а заедно с нея и капацитетът, който се изменя линейно с придвижването на вътрешния цилиндър. Минималният капацитет е от 1 до 1,5 пф, а максималният - от 5 до 15 пф. Другият, представен на фиг. II. 22 б полупроменлив кондензатор се състои от две или няколко концентрично разположени цилиндрични системи с минимален капацитет \* до 6 пф и максимален до 5 пф.

За по-големи капацитети /15 до 100 пф/ се използват малки променливи кондензатори, наричани още микрoкондензатори. Роторните им пластини са с радиус 10 мм, а въздушната междина е 0,4 до 0,6 мм



фиг. II. 22

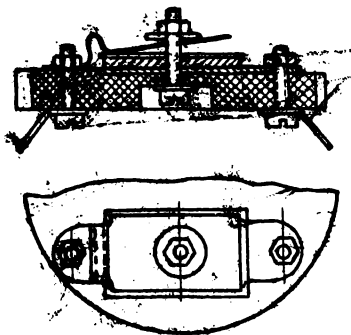
Когато са необходими още по-големи капацитети, прибягва се към използването на въздушно-слюдени по-



Фиг. II. 23

лупроменливи кондензатори. Тук промяната на капацитета се осъществява чрез изменение на разстоянието

между две пластини. Едната от тях е плоска и неподвижно закрепена към изолационна плочка, докато втората е отделена от нея чрез слюдена плочка и е изработена от пружиниращ материал, поради което се стреми да се отдалечи от неподвижната пластина. Разстоянието между пластините се регулира с помощта на винт /фиг. II. 24/.



Фиг. II. 24

Слюдената плочка позволява да се намалят зна-

чителен размерите на кондензатора при значителен максимален капацитет. Могат да се използват и няколко пластини, като по този начин  $C_{\max}$  може да се увеличи до няколко хиляди пикофарада. Минималният капацитет е твърде значителен и е обикновено от порядъка на 0,5 от  $C_{\max}$ .

### Кондензатори с газов диелектрик

Газовият диелектрик позволява да се намалат размерите и увеличи диелектричeskата якост на кондензатора. В хомогенното електрическо поле пробивната напреженост на газа расте пропорционално на налягането. В реалния кондензатор обаче, даже при много добра полировка на пластините и закръгляване на краищата им, електрическото поле не е напълно хомогенно. Ето защо нарастването на  $E_{пр}$  с налягането не е напълно пропорционално, особено при по-високи налягания. Наляганията над 15 до 20 атмосфери са нерационални.

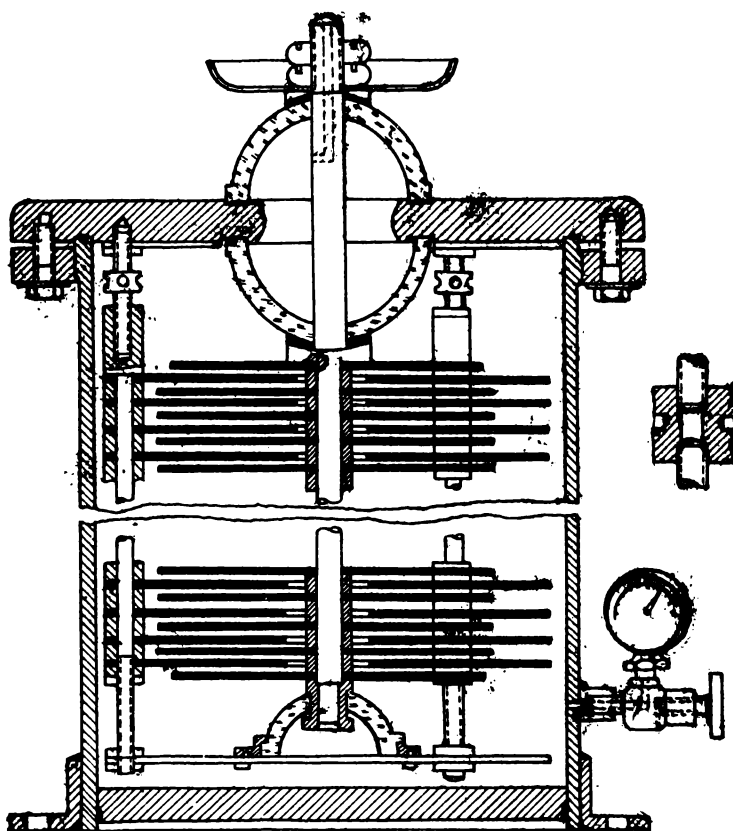
Отначало за кондензаторите от този вид е бил използван въздух под високо налягане. Това обаче се е отразило неблагоприятно върху качествата на кондензатора, поради което в днешно време се използват изключително инертни газове. Голямото количество кислород, който се съдържа в кондензатора с въздушна среда под налягане, благоприятствува за силно окисляване на металните плочи и появата на корона ефект при пробив. Ето защо днес се използва изключително азот под налягане 14 атмосфери. При добро уплътняване изтичането на газа е толкова незначително, че възстановяване на налягането се налага веднъж на една или две години. Отклонението на капацитета от номиналната му стойност е около  $\pm 0,1\%$ , а  $\epsilon_{г\delta}$  е по-малък от  $10^{-4}$ . Промените в околната температура предизвикват изменение на налягането на газа, което обаче е твърде незначително: при промяна на налягането с 1 атмосфера /при азот/ капацитетът се изменя с 0,056%.

На фиг. II.25 е показана конструкцията на кондензатор с газов диелектрик. Състои се от два пакета кръгли пластени, които са разположени хоризонтално. Овзи пакет, който се свързва към високото напрежение е монтиран на централната ос на кондензатора, ос, която е закрепена за изходния изолатор, състоящ се от две стъклени полусфери. Тънък меден диск със закръглени краища служи за изравняване на електрическото поле между извода и кожуха на кондензатора. По този начин се отстранява опасността от разред по повърхността на външната полусфера. Вторият пакет се състои също от кръгли пластени, които са свързани с кожуха на кондензатора. На долния край на кожуха на кондензатора е предвиден отвор с вентил, през който се въвежда газът в кондензатора. Тук е закрепен и

Контролен манометър. За да се намали загряването на кондензатора от високочестотните токове, всички желязни части се покриват по галванически път с дебея пласт мед /0,3 до 0,6 мм /.

В днешно време се изработват и променливи кондензатори с газов диелектрик.

Освен азот се използват и редица други газове, които трябва да отговарят не само на изискването за



диелектри-  
ческа якост,  
но и на ре-  
дица други  
изисквания,  
например  
инертност,  
химическа  
стабилност  
и др. Га-  
зът не трябва да вли-  
за във  
взаимодей-  
ствие с  
други ма-  
териали,  
които се  
намират  
заедно с  
него в елек-  
трическото  
поле. Той не  
трябва да  
се разлага  
при елек-  
трически  
разред и  
да обра-  
зува хими-  
чески ак-

Фиг. II. 25

тивни вещества. И най-после газът трябва да се поддържа, когато е с достатъчно силно налягане и нормална работна температура. На последното изискване не отговарят онези газове, чиято диелектрическа якост превишава тази на въздуха от три до четири пъти. Ето защо се предпочитат газове с по-малка диелектрическа якост от 2 до 2.5 пъти. Такива са например: серен флуорид и др.

Кондензаторите с газов диелектрик се изработват за напрежения от 10 до 15  $kV$  ефективни и могат да се използват за честоти от 200 до 300  $kHz$ .

### Вакуумни кондензатори

Съвременните вакуумни кондензатори имат цилиндрична конструкция. Отличават се с малки размери, висока диелектрическа якост /работно напрежение от 20 до 30  $kV$  / и малък ъгъл на загубите  $\tan \delta < 10^{-4}$  /. Това позволява да се натоварят със значителна реактивна мощност при високи и ултрависоки честоти, без да има опасност от недопустимо нагряване. За разлика от кондензаторите с газов диелектрик вакуумните кондензатори се изработват с малък капацитет /от 10 до 250  $pF$  /. При по-големи капацитети конструкцията им се усложнява, а това затруднява изработката и намалява експлоатационната сигурност.

Ако вакуумът е достатъчно висок, при хомогенно електрическо поле може да се получи  $E_{пр} > 100$   $kV/mm$ . Зависимостта между  $U_{пр}$  и  $E_{пр}$  при вакуум за електрическо поле, което е близко до хомогенното, е дадена на фиг. II.26. По хоризонталната ос е нанесено разстоянието  $d$ . Тази зависимост се отнася за електроди, които се изработени от желязо, никел, мед, молибден или волфрам. Вакуумът на кондензаторите е от порядъка на  $10^{-5}$   $mm$  живачен стълб. При достатъчно гладка повърхност на електродите и благоприятна конфигурация на последните може да се получи  $E_{пр} = 40 \div 60$   $kV/mm$ , което значи, че за работно напрежение 10 до 25  $kV$  разстоянието между електродите може да бъде само 1,5 до 2,5  $kV$ . На това обстоятелство се дължи голямата компактност на този вид кондензатори.

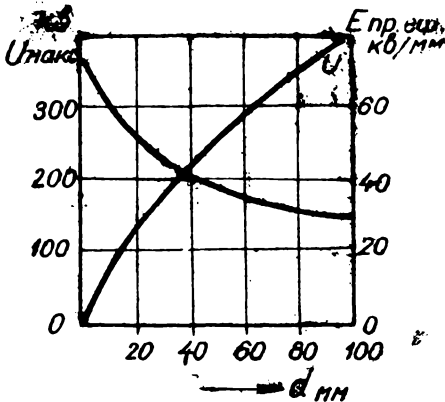
При висока честота се избира  $E_{раб}$  до 10  $kV/mm$ . За да се осигури добра работа при този условия, всички детайли на кондензатора трябва да бъдат грижливо обезгазени. Също така трябва да се избегне хладното изтичане от електродите. Чрез подходяща конструкция на кондензатора се избягва нагряването на стъклото на кондензатора вследствие силно разсеяното високочестотно поле.

Хладното изтичане се получава от грабежината в електродите. При високите приложени напрежения между отделни малки остриета на срещуположните повърхности на кондензаторните плочи протича ток, вследствие на който се получава силно локално нагряване на електродите. Последното може да предизвика отделне на газове

Конструкция на репаративни

влошаване на вакуума и като следствие от това - усилване на разреда. Ако електроните, които поддържат хладното изтичане, попаднат върху стъклото, то се нагрива, може да се размекне и да извади кондензатора от строя. Това явление се констатира по слабото флуорисциране на стъклото. За да се избегне хладната емисия, електродите и всички останали метални части се шлифват и полират. Размерите и конфигурацията им се избират в точно определени съотношения. Особено внимание се обръща на изводите, за да се намалят преходните съпротивления.

На фиг. II.27 са показани няколко конструкции на вакуумни кондензатори с постоянен капацитет. Конструкциите  $\alpha$  и  $\delta$  се отличават



Фиг. II.26

на са запоеени за стъкления балон на кондензатора. Към плочките са запоеени изводните капачки /5/ от посребрен месинг. Работното напрежение е  $7,5 \text{ кВ}$  /върхова стойност/, капацитет -  $50 \text{ пФ}$ . Размерите са: диаметър  $40 \text{ мм}$ , дължина  $83 \text{ мм}$ . Показаната на фиг. II.27 конструкция се отличава със значителна сложност на изводите. За едно от опасните места при вакуумния кондензатор се счита повърхността на стъклената тръба около външния електрод, понеже тук се получава разсеяно електрическо поле. За да се намали нагряването на стъклото, стъклената тръба на това място е отдалечена от външния цилиндър на електродната система.

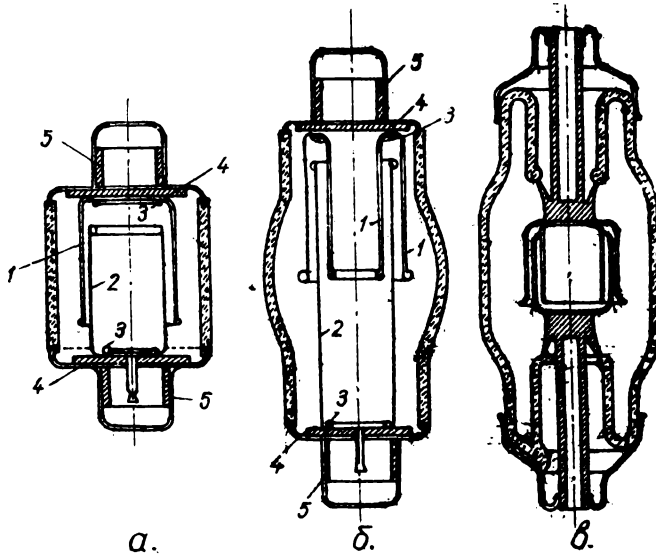
При честоти 10 до  $20 \text{ MHz}$  вакуумните кондензатори имат  $\epsilon_{\text{гд}} \approx 5 + 8 \cdot 10^{-5}$ . При по-високи честоти  $\epsilon_{\text{гд}}$  нараства вследствие загубите в металните части на

със значителна механична стабилност, обаче те имат един съществен недостатък: голямо количество феромагнитни материали /желязо, никел и др./, които създават условия за силно нагряване на кондензатора. Както се вижда от фигурата, кондензаторите са цилиндрични, състоящи се от два, респективно три цилиндра /1/; /2/, закрепени за железни дискове /3/ посредством заваряване. Самите дискове са закрепени за плочки от фернико /4/, които от своя страна

кондензатора. За да се поддържа същата температура на нагряване, реактивната мощност при по-високи честоти трябва да се намали. При някои честоти  $\epsilon\gamma\delta$  нараства малко вследствие по-голямото влияние на загубите в стъклото. При 50 000  $\text{хц}$  например  $\epsilon\gamma\delta \approx 10^{-4}$ . При тази честота обаче вакуумните кондензатори рядко се използват. При честоти от 1 до 10  $\text{мхц}$  вакуумният кондензатор може да се натовари с 300 до 500  $\text{ва}$  реактивна мощност на  $\text{см}^3$  /от общия обем на кондензатора/.

Температурният коефициент е много малък. За показаните на фиг. II.27 конструкции  $\alpha_c = +27 \cdot 10^{-6} \text{гр}^{-1}$ . Основните причини за изменението на капацитета при нагряването

са разширението на електродите, което увеличава активната повърхност, а заедно с нея и капацитета, и разширението на стъкления балон. Това разширение отдалечава електродите един от друг и по този начин намалява капацитета.

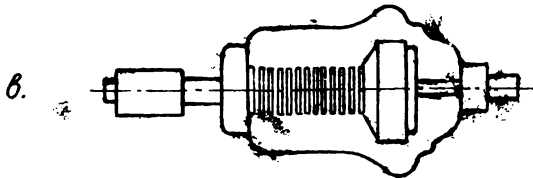
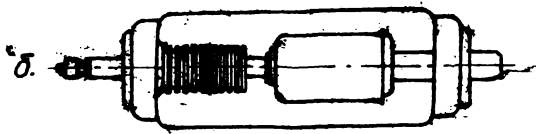
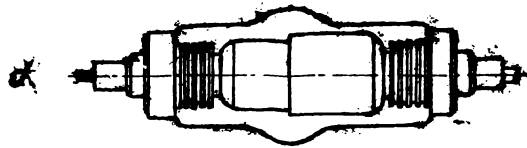


Фиг. II.27

Когато се направи подходящ подбор на коефициентите на разширение на стъклото и на метала на електродите, може да се получи много малък температурен коефициент. Едно важно предимство на вакуумните кондензатори освен тяхната компактност е и това, че пробивното напрежение е независимо от височината над морското ниво.

В последно време са реализирани и променливи вакуумни кондензатори, някои от които са показани на фиг. II.28. Изменението на капацитета се осъществява чрез осово преместване на един от двата цилиндрични електрода. Началният капацитет на вакуумните променливи кондензатори е около 20 до 25% от  $\text{С}_{\text{макс}}$ . Да-

дените на фиг. II.28 а и б конструкции са за работно напрежение 20, респективно 35 кВ, и позволяват вариация на капацитета от 5 до 25 пФ, респективно 25 до 150 пФ.



Фиг. II.28

### Маслени кондензатори

За маслените кондензатори се използва трансформаторно масло, което не съдържа полярни въглеродородни съединения, поради което диелектричната му константа е сравнително ниска  $\sqrt{\epsilon} = 2,15 \div 2,5$  и практически не зависи от честотата.

Повишаването на температурата намалява  $\epsilon$  в същата степен, в която се намалява плътността на маслото.  $\alpha_{\epsilon} = -1000 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ . Ъгълът на загубите, както и специфичното съпротивление на маслото зависят от неговата чистота и добро изсушаване. Добре изсушеното и изчистено с глина масло има  $\text{tg}\delta < 5 \cdot 10^{-4}$ .  $\text{tg}\delta$  расте с температурата, понеже се увеличава проводимостта на маслото. Увеличаването на  $\text{tg}\delta$  е толкова по-малко, колкото е по-добре изсушено и пречистено маслото. Нормалните стойности при температура  $100^\circ\text{C}$  са  $\text{tg}\delta \approx 20 \cdot 10^{-4}$ .

Диелектричната якост на трансформаторното масло зависи от примесите и от влагата, която се съдържа в него. Ако щателното пречистване и изсушаване се извършва при лабораторни условия, може да се получи  $E_{пр} \approx 25 \text{ кВ/мм}$  при  $f = 50 \text{ кГц}$ . При производствени условия  $E_{пр}$  е средно  $18 \pm 20 \text{ кВ/мм}$ . С увеличаването на честотата диелектричната якост на маслото спада, например при  $500 \text{ кГц}$  е само 30 до 40% от  $E_{пр}$  при  $50 \text{ кГц}$ .

Маслото има този съществен недостатък, че то проявява слаба химическа стабилност при повишена температура. При температури, по-високи от  $80^\circ\text{C}$ , в маслото се развиват окислителни процеси, образуват се

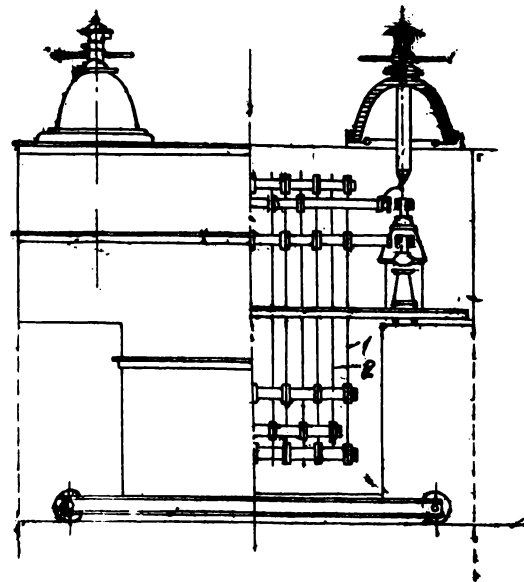


органически киселини, чиито молекули дисоциират, образуват се свободни йони, поради което проводимостта на маслото нараства, а заедно с нея се увеличава и  $\epsilon_{r0}$ . Характерно е, че добре пречистеното масло, което има висока диелектрическа якост, е много слабо устойчиво срещу окисляване при нагряване. Това се обяснява с обстоятелството, че от добре пречистеното масло са отстранени естествените антиоксиданти, които поглъщат отделения кислород.

За да се подобрят електрическите качества на маслото, то се пречиства с глина. За тази цел в съда, който съдържа нагрятото масло, се добавя смляна и изсушена глина, чието тегло е 5 до 10% от това на маслото. Така приготвената смес се разбърква добре и се остава да се утаи. След това се филтрира, за да се отстранят малките глинени частици. Полученото масло има повишени електрически качества. Вместо глина могат да се

използват различни химикали, които дават също добри резултати, макар и да са по-скъпи. След като се пречисти маслото с глина, то се суши и обезгазва. Тази операция се извършва едновременно чрез нагряване при понижено налягане във вакуумна камера. Полученото масло се използва веднага за заливане на масления кондензатор. За да се отделят по-добре въздухът и влагата от маслото, в някои случаи то се разпръсква: в нагрятото състояние маслото се изсипва във вакуумната камера, като преминава през решетки, разбива се на капки, поради което се увеличава значително повърхността му, и по този начин може да се извлече по-лесно съдържащата се в него влага и въздух.

На фиг. II.29 е дадена конструкцията на маслен кондензатор. Той се състои от две системи вертикални пластици (1) и (2), които са монтирани в железен съд и са залети с трансформаторно масло. Пластиците



Фиг. II.29

са изолирани от съда с керамични изолатори. За изводи се използват също керамични изолатори.

В днешно време маслените кондензатори се употребяват като кръгови кондензатори във високочестотни генератори за индустриални цели, където изискванията за честотна стабилност не са особено големи и където работната честота е от порядъка на 200 000 Hz.

### В. Слюдени кондензатори

От всички видове кондензатори, които се използват в радиоустройствата, най-широко разпространени са слюдените кондензатори. Това се дължи, от една страна, на добрите изолационни свойства на слюдата, а, от друга страна, на сравнително високия коефициент  $\epsilon$ , както и на малкия ъгъл на загуби. Тези качества на слюдата позволяват слюдените кондензатори да бъдат с малък обем при значителни капацитивни стойности и да могат да се използват във високочестотни вериги.

Пред слюдата, която се употребява за слюдени кондензатори, се поставят сериозни изисквания. Тя не бива да съдържа включения на метални съединения, трябва да бъде чиста и с гладка повърхност и без въздушни мехурчета. Преди да се използва, слюдата се нарязва на пластинки със съответни размери и нацепва според исканата дебелина.

Слюдата се нарязва с помощта на подходящи ножици или щанци, като се внимава при рязането да се получат чисти краищата на слюдените пластинки без чеплък, което зависи изключително от качеството на режещите инструменти.

Нацепването става ръчно с остър нож. При това се получават пластинки с дебелина от 0,01 до 0,1 мм.

След като слюдата се нареже и нацепи, тя се сортира и проверява. Онези слудени пластинки, които съдържат метални включения, се отхвърлят. Тази проверка се извършва с помощта на специално матово стъкло.

Избраните пластинки се сортират по дебелина /калибровка/. Тази операция се извършва с помощта на микрометър. В много случаи се използва микрометър с оптическа скала, който допуска при измерването най-много грешка до 0,001 мм. Калибровката е много важна операция, тъй като от точния избор на дебелината на слюдените пластинки зависи капацитетът на елементарния слуден кондензатор.

Калибрираните пластинки се промиват с чист алкохол.

Плочките на слюдения кондензатор се изработват от тънка метална фолия: алуминиева, медна или калаенословна. За различните видове кондензатори се избира фолия с различна дебелина от 0,02 до 0,1 мм.

Оловно-калаената фолия се използва нашироко, понеже е евтина, мекка и удобна за запойване. Неин недостатък е, че лесно се тегли при пресването на кондензатора. Това е едната причина за нестабилността на кондензатора по капацитет. Последният нараства заедно с увеличаването на повърхността на използваните пластини от оловно-калаена сплав. Друг недостатък на тези пластини е високото им специфично съпротивление, което се отразява неблагоприятно върху качествения фактор на слюдения кондензатор.

Алуминиевата фолия има средно от 5 до 8 пъти по-ниско специфично съпротивление и се тегли значително по-слабо, отколкото оловно-калаената. Нейният съществен недостатък се състои в това, че алуминият се поддава трудно на запойване.

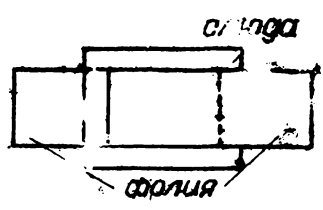
Най-често използваният вид фолия е медната. Тя има най-ниско специфично съпротивление и поради това се използва нашироко за висококачествени кръгови кондензатори, като в отделни случаи се покрива по електролитен път с тънък пласт сребро. Медната фолия се поддава лесно на спояване, но е сравнително твърда, поради което се налага след запойването да се отвърне. В противен случай медните пластини могат да повредят слюдата при пресването.

Подобно на слюдата фолията се нарязва на пластинки с точно определени размери /фиг. II.30/.

При малки слюдени кондензатори, както и слюдени кондензатори с високи изисквания по отношение стабилност на капацитета не се използват метални пластинки, а самият метал /цинк или сребро/ се нанася от двете страни на слудената пластинка. Покритието се извършва по различни методи:

1. Покритие чрез катодно разпрашване. При катодното разпрашване върху слудената пластинка се нанася тънък метален слой. Разпрашването се осъществява във вакуумна камера, която е показана на фиг. II.31. Катодът *K* представлява метална плоча от материал, който трябва да се нанесе върху слудената пластинка. Анодът *A* и слудената плочка *Л*, която е разположена върху него, се намират на определено разстояние от катода. Работи се в атмосфера с неутрален газ, използвайки напрежения от няколко киловолта. Благодарение на

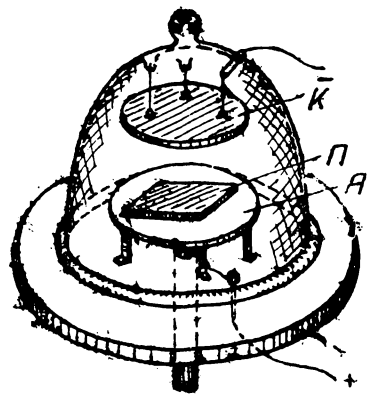
ция разред, който се образува между катод и анод при определено налягане, катодът се разпръсква и слюдената пластинка се покрива с метален /катоден/ прах. За да се получи достатъчно стабилна връзка между повърхността на слюдата металния пласт, слюдата трябва да е добре почистена и преди покритието да се подложи на краткотрайно съприкосновение с открит пламък от горелка. Самият процес на нанасяне на металния пласт /металлизация/ трае няколко часа или десетки часове. Тази негова продължителност е сериозно препятствие, за да се използва по-често в производството.



Фиг. II.30

2. Покритие чрез изпарение

Този начин се отличава с по-голяма краткотрайност на металлизацията. Това е безспорно и негово съществено предимство. Тук, както и в предишния случай, може да се извърши покритие с всеки желан метал. Необходимо е само металът да има ниска температура на топене, във всеки случай по-ниска, отколкото тази на проводника на електрическия нагревател. Последният е обикновено волфрамов, чиято температура на топене /3370°С/ е сравнително висока. Самият процес на покритие се извършва по следния начин:



Фиг. II.31

подлежащият на изпаряване метал се поставя непосредствено върху волфрамовите спирали на нагревателя, който се включва към напрежение, като предварително се постави в атмосфера от водород или благороден газ. По такъв начин металът се разтапя.

Подготвеният по този начин изпарител се въвежда във вакуумната камера, където са разположени слюдените пластинки. При вакуум от порядъка на  $10^{-4}$ - $10^{-5}$  мм жл. чен стълб нагревателят се включва, металът се изпарява и покрива повърхността на слюдените пластинки, както и стените на вакуумната камера с тънък метален пласт. Сребро и мед се разта-

път трудно с волфрамов нагревател, поради което за тях се приготвяват нагреватели от кантал или молибден.

### 3. Покритие по химически път

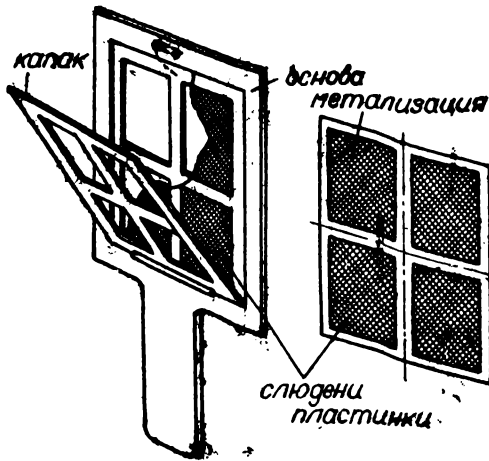
Този метод се използва за високостабилни слюдени кондензатори. От двете страни на слюдената пластинка се нанася тънък слой сребро, като по този начин се осъществява плътно съприкосновение на среброто с повърхността на слюдата. Поради това стабилността на капацитета на кондензатора зависи единствено от физическите констативи на слюдата.

Нанасянето на среброто става по следния начин: върху слюдените пластинки, наредени на метална рамка, се нанася специална паста от сребърно съединение чрез пулверизация. Както се вижда от фиг. II.32, рамката се състои от основа и капак, в отворствата на които се поставят слюдените пластинки. Пастата се нанася върху пластинките от двете им страни. Онази повърхност, която е покрита от рамката, не се металлизира. За всеки размер слюдени пластинки има отделна рамка. В някои случаи се използва следният начин: вземат се слюдени пластинки с голяма плоскост, върху тях се нанася пастата, след това пластинките се обработват и накрая се нарязват на необходимите размери. Този начин изисква по-големи слюдени плочи, които са по-скъпи, обаче е по-изгоден в производствено отношение, понеже се избягва закрепването на голям брой малки плочки в рамките.

Нанасянето на пастата се извършва в специална кабина, снабдена с вентилационно устройство. Равномерността, както и дебелината на нанесения слой се контролират, като пластинките се осветяват през матово стъкло.

Така подготвените слюдени пластинки се слагат в електрическа тунелна печ. Последната има две зони на нагриване, които се регулират автоматически. В първата зона температурата се повишава равномерно от 150°C до 500°C, а във втората температурата се поддържа постоянно на 500°C. Слюдените пластинки остават в печта приблизително 10 минути. Тук се възстановява металното сребро, което се свързва с повърхността на слюдата. Среброто прониква на дълбочина около 3 до 5 микрона от двете страни на слюдената пластинка. По-дълбоко проникване на сребърния пласт не е желателно, тъй като се понижава пробивното напрежение на слюдения кондензатор. Дебелината на сребърния пласт над повърхността на слюдата е от 3 до 5 микрона.

Монтажът на следния кондензатор се извършва с помощта на специални приспособления - шаблони. Между

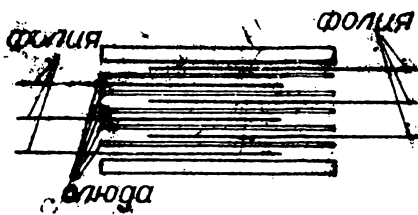


Фиг. II.32

шпилките на шаблона се поставят последователно лист фолия, слюдена пластинка, фолия, слюда и т.я., като краищата на фолиевите глестинки се извеждат от двете срещуположни страни на кондензатора, както е показано на фиг. II.33. За да се повиши напрежението между металните пластини, на кондензаторите се поставят по две и повече слюдени пластинки. Избягва

се използването на една слюдена пластинка с по-голяма дебелина, за да се увеличи устойчивостта на кондензатора срещу пробив. При посочения по-горе начин слабите места в отделните слюдени пластинки не попадат едно върху друго.

След като по този начин се монтира кондензаторът с приблизително даден капацитет, той се подлага на пресоване, като едновременно с това капацитетът му се контролира с измерителен уред. Тъй като капацитетът зависи от налягането, последното трябва да се поддържа равномерно. Точната стойност на налягането се установява по опитен път. Ако измереният капацитет при тези условия е по-голям от зададения, той



Фиг. II.33

се намалява, като се намали или броят на металните пластини, или пък се намали тяхната повърхност, като например крайните пластини се обреза с ножица.

Монтажът на кондензаторите с нанесен метален слой върху слюдени пластинки се извършва по аналогичен начин.

Между две съседни слюдени пластинки се поставят тънки ленти, които служат за изводи на

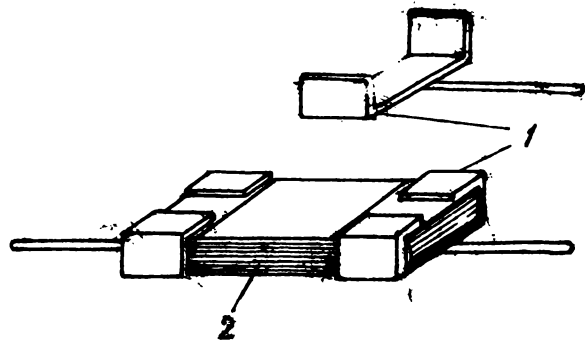
кондензатора. Когато се отнася за кондензатори с голяма точност на капацитета, тогава преди монтажа всички елементарни кондензатори, състоящи се от слюдена пластинка с метален слой от двете страни, се подлагат на проверка и се сортират по капацитет.

За установяване на точната стойност на капаците та понякога се използват изравнителни пластинки с малък капацитет. Тук нанесеният сребърен слой е с два пъти по-малка дължина, отколкото при обикновените пластинки. Освен това дебелината на тези пластинки е по-голяма, отколкото тази на нормалните. При изравняването на кондензатора по капацитет се използват една или две изравнителни пластинки.

В някои случаи изводите на слюдения кондензатор се запойват с цел да се осигури по-надежден контакт. Запойването трябва да се извършва внимателно, за да не се повреди металният пласт. При запойката се използва зачистване със спиртов разтвор от колофон. Използуването на кисела паста не се допуска.

Събраният по този начин пакет от слюдени и метални пластинки /2/ се запресова с помощта на ръчна преса в извращаещия от месингова ламарина /1/ /фиг. II.34/.

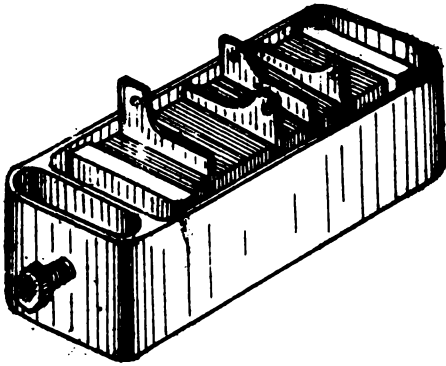
Монтираният кондензатор се подлага на изсушаване и импрегнация с церезин във вакуумна камера при температура от 70 до 80° С и вакуум до 1 мм живачен стълб. Изсушаването във вакуум има за цел да отстрани въздуха и влагата от отделните секции на кондензатора. Въздухът и влагата са едни от най-важните източници както за нестабилност на капацитета на кондензатора при промяна на околната температура, така и за пробив между секциите.



Фиг. II.34

След импрегнацията кондензаторът се затваря, като се запресова в пластмаса, като се обвие в композитна маса или като се постави в метален кожух. За пластмаса обикновено се използва бакелит със специални качества, като режимът на пресоването се установява в зависимост от използвания сорт.

Пресованите кондензатори се подлагат на термообработка /старееие/ в сушилни шкафи при температура 100 до 110°С. Този процес трае от два до три часа, след което кондензаторите се подлагат наново на импрегниция с цезий за повишаване на устойчивостта им. По-

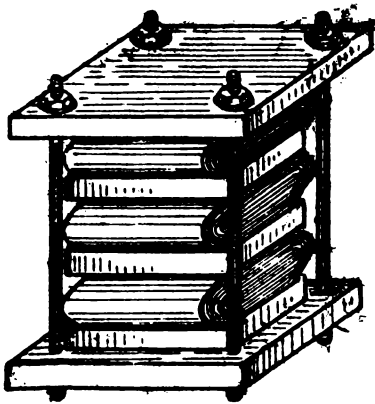


Фиг. II.35

добри резултати се получават при импрегниция под вакуум. След това кондензаторите се изсушават и се подлагат на старееие в термостат, чиято температура се повишава постепенно до 100°С, която впоследствие се намалява и стига отново до температурата на околния въздух. По този начин се ускорява процесът на старееенето на кондензатора, вследствие на което неговият капацитет остава значително по-

стабилен при експлоатационни условия.

При поставяне на кондензатора в метален кожух изводите му се запойват за керамични или стъклени изолятори. Технологическите процеси по херметизацията на кондензатора не се отличават принципно от посочените по-горе процеси.



Фиг. II.36

Всички описани дотук технологически процеси се отнасят преди всичко за кондензатори от масовото производство с проста конструкция. Наред с тях се изработват сложни слездени кондензатори, които се използват като кръгови или блокировъчни кондензатори в радиопредавателите. Тези кондензатори се състоят от отделни секции, които се свързват една с друга успоредно или последователно в съответствие със зададените работни условия /ток и напрежение/

и в зависимост от изисквания капацитет.

Монтажът на сложните кондензатори е показан на Фиг. II.36. Тук се осъществява равномерно налягане, като се използва централен винт.



Някои видове слюдени кондензатори за високо напрежение се монтират в керамични цилиндри, които завършват с два метални фланеца. Секциите на кондензатори са стегнати с шпилки /фиг. II.36/ и са залети с битумна маса. Тези кондензатори се отличават с висок качествен фактор /металните пластинки са медни, посребрени/ и се използват като кръгови кондензатори в мощни предавателни устройства.

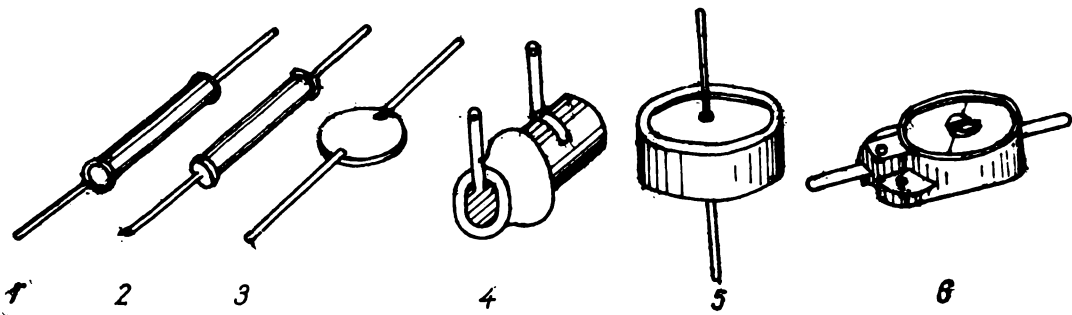
### Г. Керамични кондензатори

Независимо от конструкцията си керамичните кондензатори използват като диелектрик керамични материали, докато плочите на кондензатора представляват две тънки пласта сребро, нанесени върху керамиката.

На фиг. II.37 са показани главните видове керамични кондензатори. Те са с дискова, тръбна и плоска конструкция, както с чашковидна конструкция /желед/.

Технологията на керамични е кондензатори зависи от тяхната форма и от вида и качествата на използваната керамика. Най-често използвани керамични материали са ултрапорцелан, радиостеатит, титконд, термоконд, които са от съветски произход, както и конденза, калит, калан и други видове керамични материали от европейски произход.

Тръбният кондензатор се приготвя по следния начин. Керамичната тръба се пресова от керамично тесто през дюза с подходящи размери. Получените керамични тръбич-

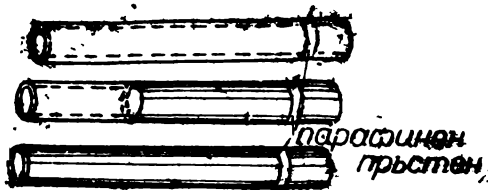


Фиг. II.37

ки се изсушават и изпичат, като преди това се помещават в подходящи калъци, за да се избегне изкривяването им. Режимът на изпичането зависи от вида на керамичната маса. За различните видове използване керамична маса той е различен.

Така приготвените керамични тръбички се сортират и подлагат на шлифоване, за да се получи гладка повърхност. Последната се почиства с гореща сапунена вода, а след това с чист текуща вода. За да се изчисти от мазнини, керамичната тръбичка се подлага и на нагриване до  $500^{\circ}\text{C}$  в електрическа муфелна пещ.

Керамичните торбички се сортират по вътрешен и външен диаметър, след което вътрешната и външната повърхност на тръбичката се покриват със сребърна паста. Последната се нанася ръчно с мека четка или чрез потапяне на керамичната тръбичка в сребърната паста. Преди да се покрие външната повърхност на тръбичката с паста, на около 5 мм разстояние от единия край се нанася пръстен от парафин или восък /фиг. II.38/. Този пръстен служи за изолация между горния пласт паста, който се нанася



фиг. II.38

външната повърхност, и долния /вътрешния/ пласт, нанесен по вътрешната повърхност и откъм единия край на външната повърхност на тръбичката. Последното е необходимо, за да могат да се закрепят изводите на кондензатора към външната повърхност

на тръбичката. Докато външният пласт достига до долния край на тръбичката, вътрешният е с точно определена дължина, така че да се получи желаният капацитет.

Така приготвената керамична тръбичка се поставя в електрическа муфелна пещ, чиято температура може да се регулира до  $900^{\circ}\text{C}$ . Пещта се зарежда в студено състояние, след което температурата се покачва на 100 до  $120^{\circ}\text{C}$  и по такъв начин се изсушава нанесената върху керамичната тръбичка паста. Изсушаването може да се извърши и при температура  $195^{\circ}\text{C}$ , което обикновено се практикува, тъй като при тези условия процесът се развива по-бързо.

При  $200^{\circ}\text{C}$  сребърната паста започва да се разлага. Това продължава и става толкова по-интензивно, колкото повече се покачва температурата. При  $325^{\circ}\text{C}$  изгарят всички примеси и на повърхността на тръбата остава чист сребърен пласт. Увеличаването на температурата от  $200^{\circ}\text{C}$  до  $325^{\circ}\text{C}$  става постепенно с около  $2,5^{\circ}\text{C}$  на минута. Ако температурата се покачва по-бързо, примесите изгарят много бързо, поради което сребърният слой не е еднороден.

Температурата се увеличава бавно до  $140^{\circ}\text{C}$ , а от тази точка нагоре температурното нарастване може да

продължи с  $6^{\circ}\text{C}$  в минута. Сребърният пласт се впица в повърхността на керамиката от  $600^{\circ}\text{C}$  нагоре. Добри резултати в това отношение се получават при температури от  $800^{\circ}\text{C}$  до  $850^{\circ}\text{C}$ . Максималната допустима температура е  $870^{\circ}\text{C}$ . При нагриване до по-висока температура сребърният пласт се набръчква.

Описаният процес на впицане на сребърния пласт в керамичните материали продължава средно около 4 часа, от които в продължение на 3,5 часа температурата постепенно се покачва, а през останалия половин час керамичните тръбички се държат при константна максимална температура на муфелната пещ. След това пещта постепенно се охлажда. Скоростта на охлаждането зависи от размера и формата на керамичните детайли. Малките детайли с проста конфигурация позволяват да се намали значително времето на охлаждането, докато големите детайли със сложна форма изискват бавно охлаждане, тъй като в противен случай се получава напукване на керамичната основа. Средната скорост на охлаждането е около  $1^{\circ}\text{C}$  до  $1,5^{\circ}\text{C}$  в минут.

За да се получи добро покриване на керамичната тръбичка със сребърен пласт, горният процес се повтаря поне два пъти. По този начин се отстраняват евентуалните дефекти, които са свързани с неравномерното нанасяне на пастата. Освен това се увеличава дебелината на сребърния пласт. Същият при едно впицане варира от 7 до 15 микрона, при две впицания - от 13 до 20 микрона, а при три - от 20 до 28 микрона.

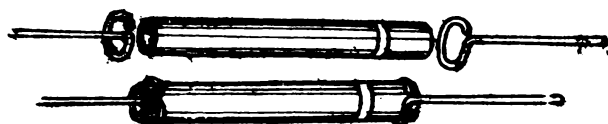
При добре нанесен сребърен пласт последният се свързва добре с керамиката и за да се откърне от нея, е необходимо усилие от порядъка  $50\text{ kg/cm}^2$ . Заедно с откърения сребърен пласт се отделя и част от керамичната повърхност - толкова здраво е съединението между среброто и керамиката. Този повърхностен пласт има и други благоприятни от електрическо гледище качества: той има температурен коефициент на разширение, който е близък до този на керамиката, поради което керамичният кондензатор има висока стабилност. Поради същата причина и високочестотни събини, които са получени чрез нанасяне на тънък сребърен пласт върху керамична тръба, имат сравнително голяма стабилност на самоиндукцията.

Изсушаването на пастата се извършва по-качествено, когато се използват отделни сушилни камери. Чрез изсушаването от сребърната паста се отстраняват различни съставни части, които повреждат сребърния слой, ако останат в пастата през време на изпицането.

В началото изсушаването се извършва от  $40^{\circ}\text{C}$  до  $90^{\circ}\text{C}$ . След това температурата се повишава на  $195^{\circ}\text{C}$ ,

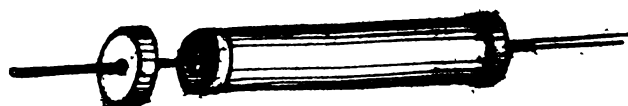
при което се разтопява колофонът, който представлява една компонента на сребърната паста. Тази температура се поддържа около 2 часа, през което време се отделят газове от колофона. След това температурата се намалява на 70 С и по този начин се приключва изсушаването.

Към приготвените по този начин цилиндричен керамичен кондензатор се запойват изводи, които представляват



Фиг. II.39

мек /меден/ проводник с диаметър 0,8 до 1 мм. Както се вижда от фиг. II.39, краят на проводника се свижда във вид на една навивка с диаметъра на керамичната тръба, надява се върху тръбата и се запойва към сребърния пласт. Използват се също така и метални капачки, които се надяват върху керамичната тръбичка и към които се запойва меден проводник с диаметър 0,8 до 1 мм.

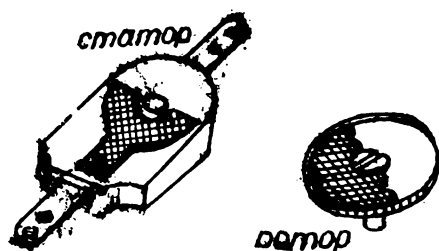


Фиг. II.40

Изравняването на керамичния кон-

дензатор по капацитет може да се извърши с много голяма точност. Кондензатори, които имат по-голям капацитет от зададения, се коригират, като част от повърхностния сребърен слой се отнема посредством шлифоване.

При кондензатори, които имат недостатъчен капацитет, последният се увеличава, като се нанесе с мек молив графитен пласт върху външната повърхност на керамичния цилиндър. След това покритата с графит повърхност се намазва със сребърна паста и се подлага на изпичане. При този процес графитът изгаря.



Фиг. II.41

Повърхността на тръбните кондензатори се по-

крива с емайлов лак, който има високи изолационни качества. Цветът на лака представлява отличителен белег, по който може да се съди за температурния коефициент на кондензатора.

В някои случаи изработените по описания начин керамични кондензатори се импрегнират, за да се защитят от влиянието на влагата и от изменението на налягането. По такъв начин се получава нов тип керамичен кондензатор с импрегнация. За тази цел приготвеният керамичен кондензатор не се покрива с лак, а се помещава глазиран керамичен цилиндър, чиито краища са посребрени /фиг. II. 40/. Върху тази керамична тръба се наляват метални капачки с централен отвор, през който минават водите на кондензатора. Както капачките, така и изводите на кондензатора се запойват и по този начин кондензаторът се затваря херметически. Металните капачки се покриват с цветен емайлов лак, който определя температурния коефициент на кондензатора. В някои случаи в керамичната тръба се поставят няколко успоредно съединени керамични кондензатора, които се подбират така, че да може резултатният температурен коефициент на целия кондензатор да бъде равен или близък до нула.

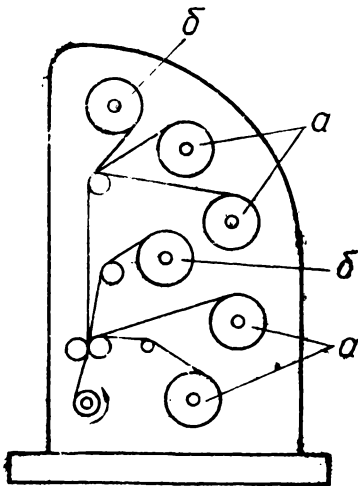
Дисковите кондензатори се изработват аналогичен начин. Керамичната основа се пресова, повърхността ѝ се обработва по описания по-горе начин, след това нанася сребърна паста, която се суши и блеча в керамичната повърхност. Този процес се повтаря няколкократно, след което се запойват изводите и кондензаторът се покрива със защитен емайлов лак.

Полупроменливите кондензатори, които се употребяват за донастройка на трептящите кръгове, се състоят от две части: статор и ротор, показани на фиг. II. 41. Тези два елемента се пресоват, пекат, след което повърхностите им, които попадат една срещу друга, се подлагат на шлифоване. По такъв начин се получава гладка повърхност и пълно прилепване на статорната към роторната пластинка. Избягва се въздушното пространство между статор и ротор, което намалява стабилността на полупроменливия кондензатор. На другите повърхности се нанася сребърният пласт по описания начин. Голяма трудност се среща при изработката на роторните плочки, които в някои типове керамични кондензатори имат дебелина 0,3 до 0,5 мм.

### Д. Книжни кондензатори

При книжните кондензатори за диелектрик се използва кондензаторна хартия. Тя е дебела около 10 микрона и се получава във вид на тесни дълги ленти, навити на руло. За кондензаторни плочи се използва алуминиева или калаено-оловна фолия с дебелина 7 до 7,5 микрона във вид на тесни ленти, навити на руло.

Книжният кондензатор се изработва, като се навиват две ленти от метална фолия, изолирани чрез кондензаторна хартия, във вид на спирална бобина. За целта се използва навивъчна машина, която е показана схематично на фиг. II.42. Тук на означените с *a* ролки са поставени

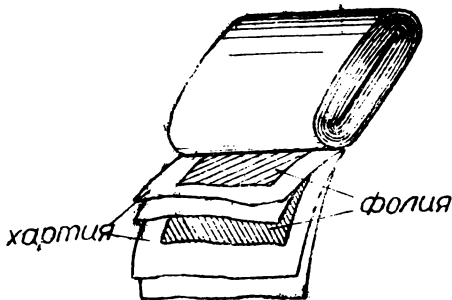


Фиг. II.42

рула от кондензаторна хартия, а на означените с *b* ролки – рула от метална фолия. Използват се две книжни ленти между металните такива, за да се избегне опасността от пробив при дефект в хартията. За високоволтови книжни кондензатори се използват повече от 3 пласта кондензаторна хартия.

При навиването на кондензатора снетите от различните рула ленти се направляват от система ролки и попадат върху един шпиндел. Последният се

привежда във въртеливо дви-



Фиг. II.43

жението ръчно или чрез електромотор, който позволява извършването на дадена промяна в скоростта на движението му.

След като се навие необходимият брой навивки на кондензатора, лентите от хартия и фолия се прерязват с ножица между шпиндела и ролката и навитият във вид на цилиндър конден-