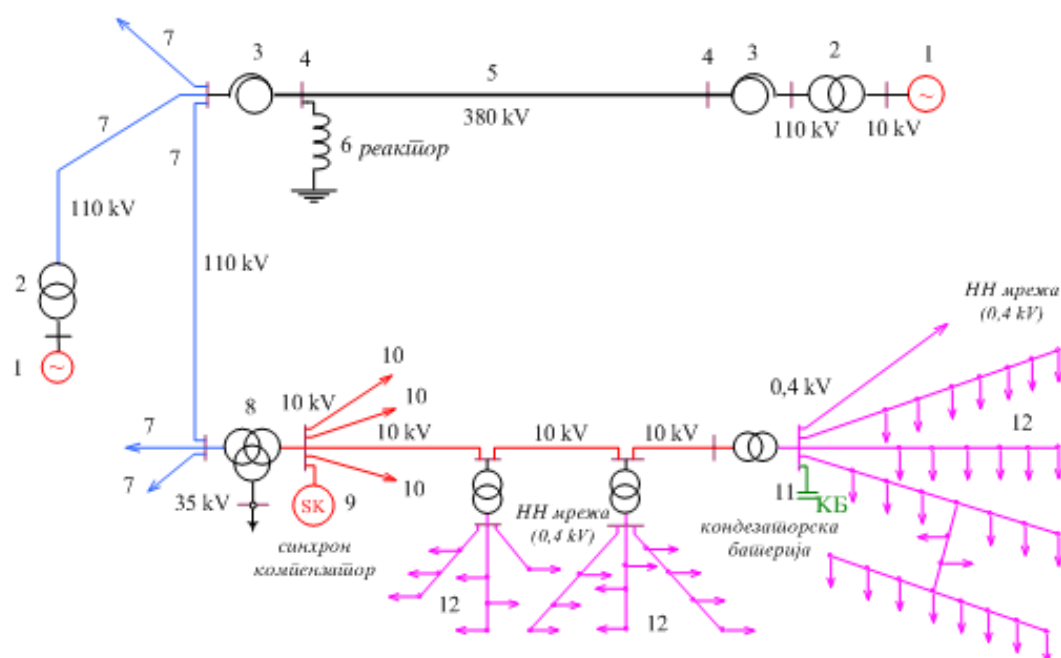


2. ЕЛЕМЕНТИ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ МРЕЖИ И НИВНА КОНСТРУКТИВНА ИЗВЕДБА

2.1. СОСТАВ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ СИСТЕМИ

Во современите ЕЕС изворите често се прилично оддалечени од поедините потрошувачки центри и енергијата се пренесува по долг и сложен пат. Притоа основната улога во прифаќањето на произведената електрична енергија и нејзиниот пренос до главните потрошувачки центри ја има високонапонската *преносна мрежа*, додека пак *дистрибутивната мрежа* има задача пренесената електрична енергија да ја распредели (дистрибуира) до крајните нејзини корисници – потрошувачите. Изворите, заедно со преносната и дистрибутивната мрежа, како и потрошувачите го сочинуваат *ЕЕС* на една земја или област.

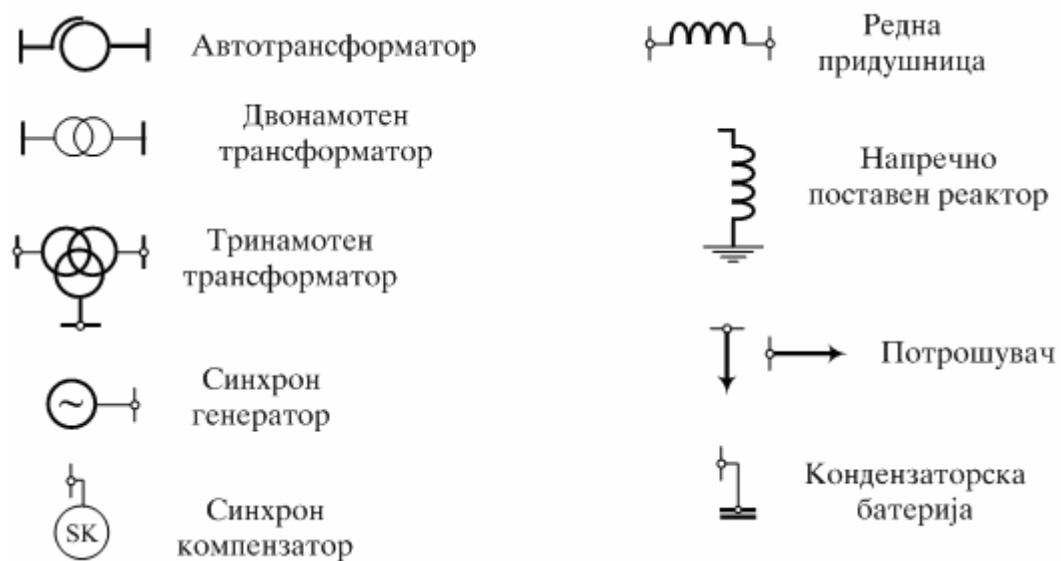


Слика 2.1. Шематски приказ на дел од еден ЕЕС

- 1) Синхрон генератор; 2) Блок-трансформатор; 3) Автотрансформатор;
- 4) 380 kV собирници; 5) 380 kV вод; 6) Придушница (реактор); 7) 110 kV вод;
- 8) Тринамотен трансформатор; 9) Синхрон компензатор;
- 10) 10 kV дистрибутивен вод; 11) Кондензаторска батерија;
- 12) Нисконапонска (НН) дистрибутивна мрежа

На сликата 2.1 е приказан, во упростена форма, еден од можните начини и патишта на пренесувањето на електричната енергија во еден поголем ЕЕС. Истата слика е искористена и како можност за запознавање со **симболите** што се користат во еднофазните (**еднополните**) **заменски шеми** на ЕЕС. Се разбира, на сликата 2.1 е приказан само еден дел од електроенергетскиот систем.

На следната слика се прикажани вообичсените симболи за графичко прикажување на одделните елементи на ЕЕС.



Слика. Симболи за поважните елементи на ЕЕС

2.2. СОСТАВ НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИТЕ МРЕЖИ

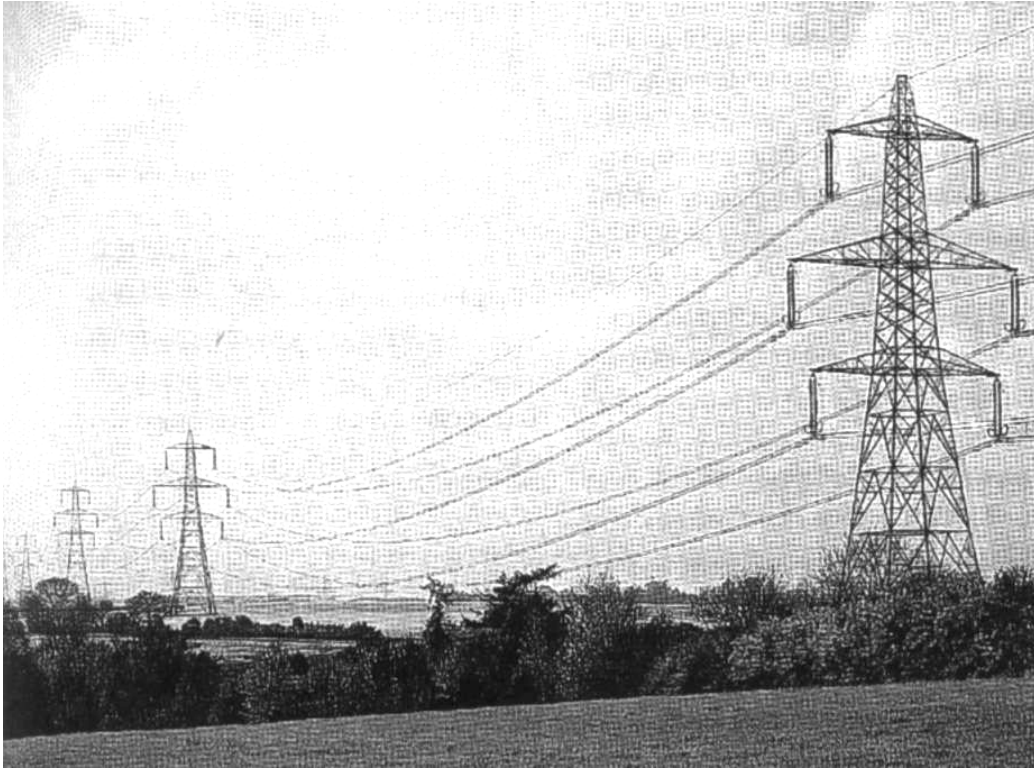
Во составот на електроенергетските мрежи спаѓаат следните елементи:

- *надземни водови (далекуводи),*
- *кабелски водови,*
- *двонамотни и тринамотни енергетски твр-ри,*
- *кондензаторски батерии,*
- *синхрони компензатори,*
- *автотрансформатори,*
- *кондензаторски батерии и*
- *придушници (реактори).*

Меѓутоа, една мрежа не мора секогаш да ги содржи сите наведени елементи.

Во натамошниот дел од текстот накратко ќе бидат изложени основните карактеристики и особености на секој од наведените елементи.

2.3. НАДЗЕМНИ ВОДОВИ

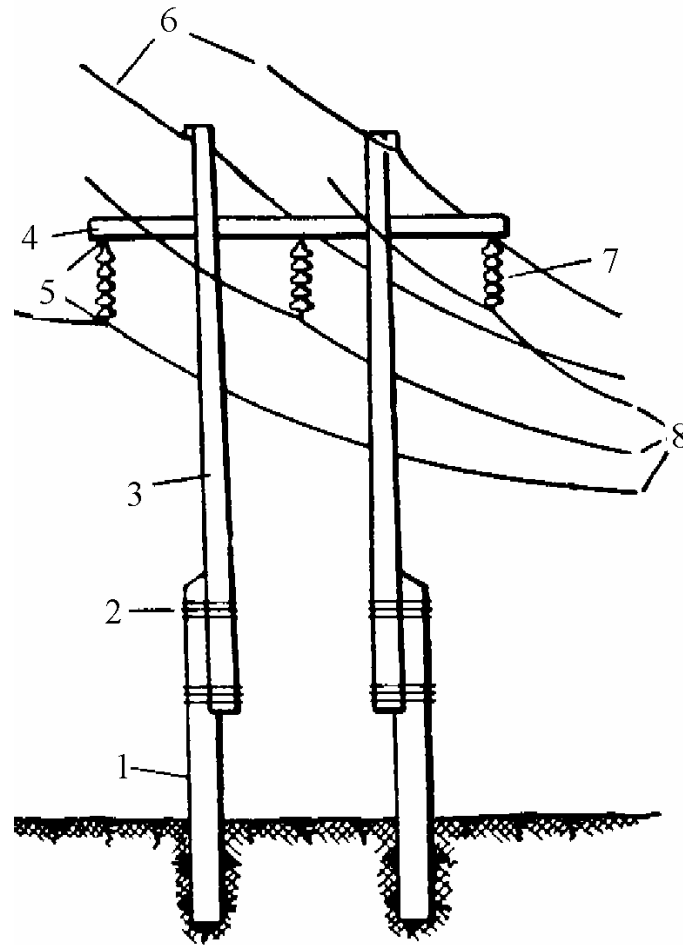


Слика. Дел од еден 400 kV двосистемски надземен вод

Надземните водови во основа се составени од:

- столбови,
- спроводници,
- изолатори,
- соодветен обесувачки (овесен) и споен прибор.

На сликата 2.2 е прикажан електричен столб со сите поважни компоненти од кои се составени надземните водови.



Слика 2.2. Дрвен електричен столб од еден 110 kV надземен вод

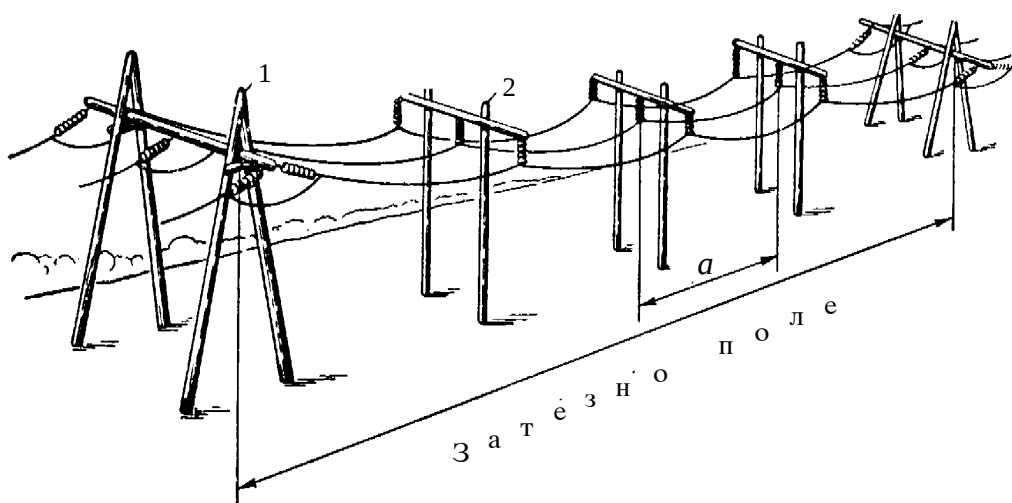
- 1) Ногара на столбот 2) Бандаж (челична жица) ; 3) Јарбол
 4) Пречка (портал) 5) Арматура за прицврстување на изолаторите
 6) Заштитно (гromобранско) јаже 7) Изолаторски синџир
 8) Фазни спроводници

Растојанието помеѓу два соседни столба од еден надземен вод се нарекува *распон* (сл. 2.3) и се означува со *a* . Под влијание на сопствената тежина, спроводниците долж распот не се прави, туку заземаат облик на *синџирница (ланчаница)* (слика 2.3 и слика 2.4).

Растојанието помеѓу замислената права линија што ги сврзува точките на обесување на спроводниците и самиот спроводник на средината од распот се бележи со *f* и се нарекува *провес (уклон, уџиб)*.

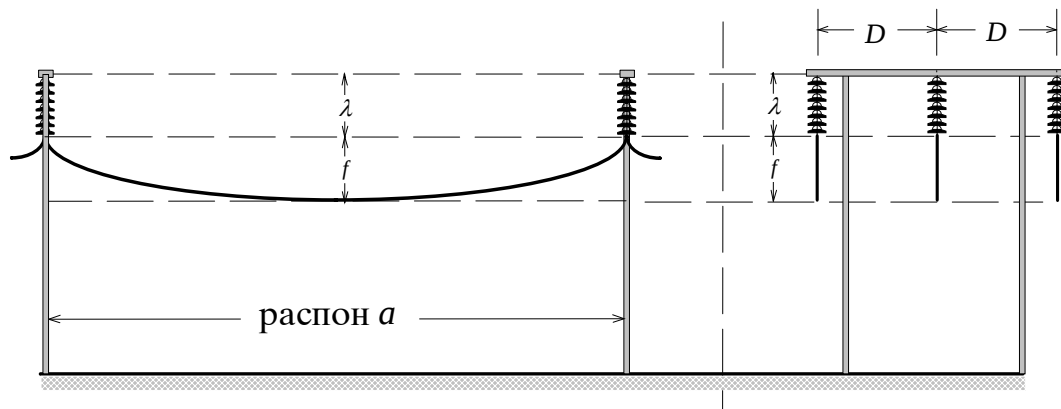


Слика. Монтажа на еден 400 kV аголно-затезен столб (чел. решеткаст)



Слика 2.3. Затезно поле - дел од надземен вод
1) Затезен столб 2) Носечки столб

Растојанието означено со h на сл. 2.4 треба да биде доволно големо за да се обезбеди безопасно движење на луѓето и транспортните средства под спроводниците од водот. Ова растојание зависи од условите на теренот низ кој минува далекуводот и од неговиот номинален напон.



Слика 2.4. Дефиниција на поимите „распон“ и „провес“ кај надземните водови

Во нашата земја постојат прописи кои се регулирани со посебен правилник за градба на надземни електроенергетски водови¹. Височината h на спроводниците над тлото и над објектите на него според овој Правилник мора да биде усогласена со т.н. „сигурносна височина“ H_s . Според Правилникот, сигурносната височина е најмалата дозволена вертикална оддалеченост на спроводниците, односно деловите под напон, од земјата или од некој друг објект на земјата во критичниот случај, кога провесот на спроводниците е најголем. Според истиот Правилник, критичната состојба се јавува или при максималната температура на амбиентот $\theta = 40^\circ\text{C}$, кога поради високата температура спроводниците се олабавени (опуштени), или пак зиме, при температура од -5°C , кога на спроводниците е нафатен зимски додатен товар (мраз, снег и слично). За водовите за кои се предвидува дека во текот на летните месеци можат да имаат високо специфично струјно оптоварување, Правилникот препора-

¹ Во Република Македонија проблематиката на градба на надземните електроенергетски водови сè уште се регулира со некогашниот „Правилник за техничките нормативи за изградба на надземни електроенергетски водови со номинален напон од 1 kV до 400 kV“. (Службен лист на СФРЈ, бр. 65/1988, стр. 1618 - 1643).

чува височината h да се контролира и пресметува за температура на спроводниците $\theta = 60^\circ\text{C}$.

Во табелата 2.1 се прикажани сигурносните височини што ги пропишува нашиот Правилник за некои поважни случаи. Оваа проблематика е многу подетално обработена во споменатиот Правилник.

Табела 2.1. Сигурносни височини (m) кај надземните водови

Услови на теренот	НН водови	ВН водови до 110 kV
Непристапни места	4	5
Места пристапни за возила	5	6
Населени места	5	7
Патишта од I до IV ред	6	7
Градски улици	6	7
Згради со запалив покрив	12	12

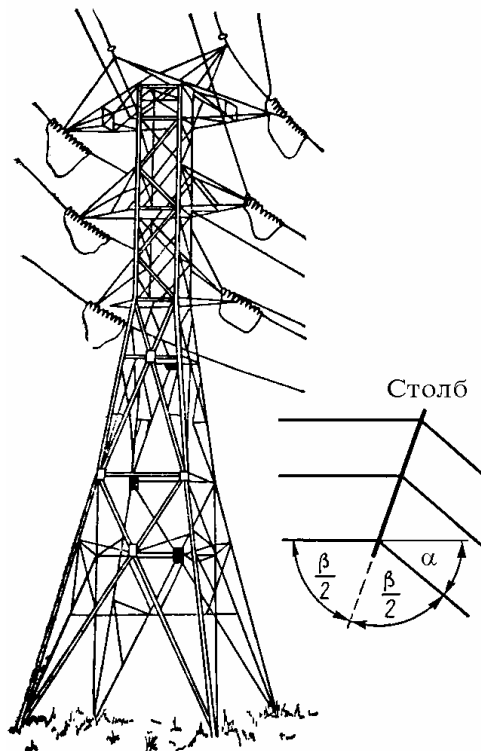
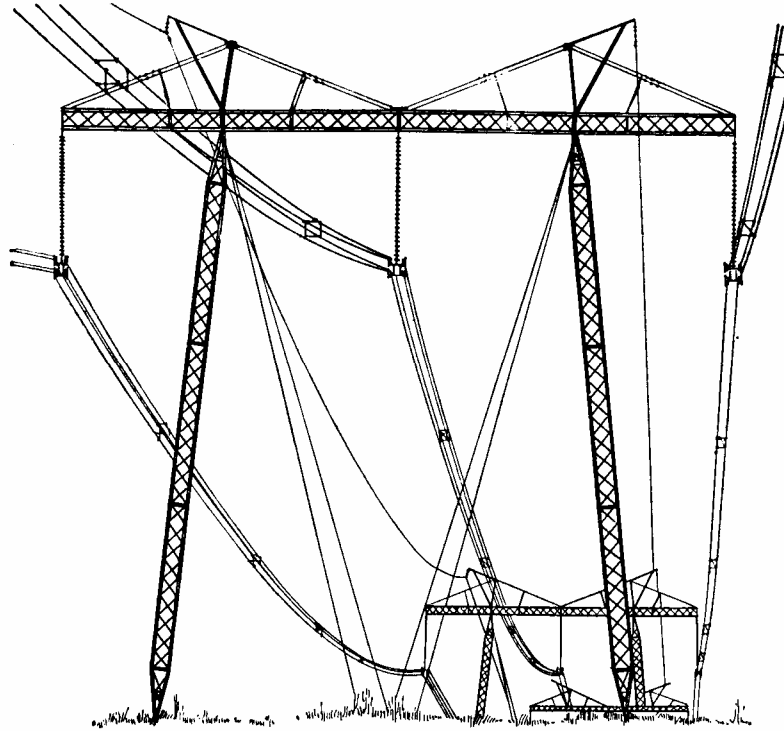
За водови со номинален напон 220 kV сигурносните височини се за 0,75 m, додека за водовите со номинален напон 380 kV за 2 m поголеми од наведените вредности во последната колона во табела 2.1.

Растојанието D меѓу спроводниците во средината од распонот (слика 2.4) зависи од номиналниот напон на водот и од големината на распонот. Со цел да се обезбеди потребното изолационо растојание и погонот да се направи сигурен, ова растојание е исто така нормирано. Ориентационите вредности за ова растојание се дадени во табелата 2.2.

Табела 2.2. Просечни вредности на растојанието помеѓу спроводниците (m) кај надземните водови во зависност од нивниот номинален напон

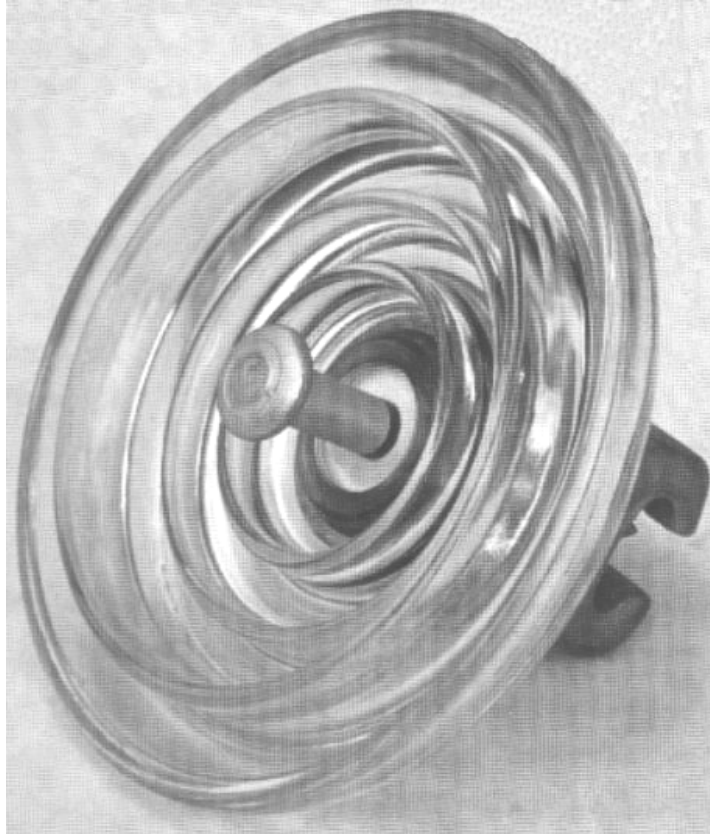
Номинален напон U_n (kV)	Меѓусебно растојание D (m)
6 – 10	0,8 – 1,5
35	3,0 – 3,5
110	4 – 5
220	6 – 8
380	9 – 11

Столбовите се прават од **дрво**, **армиран бетон** и **челик**, а во последно време и од **синтетички материјали**.



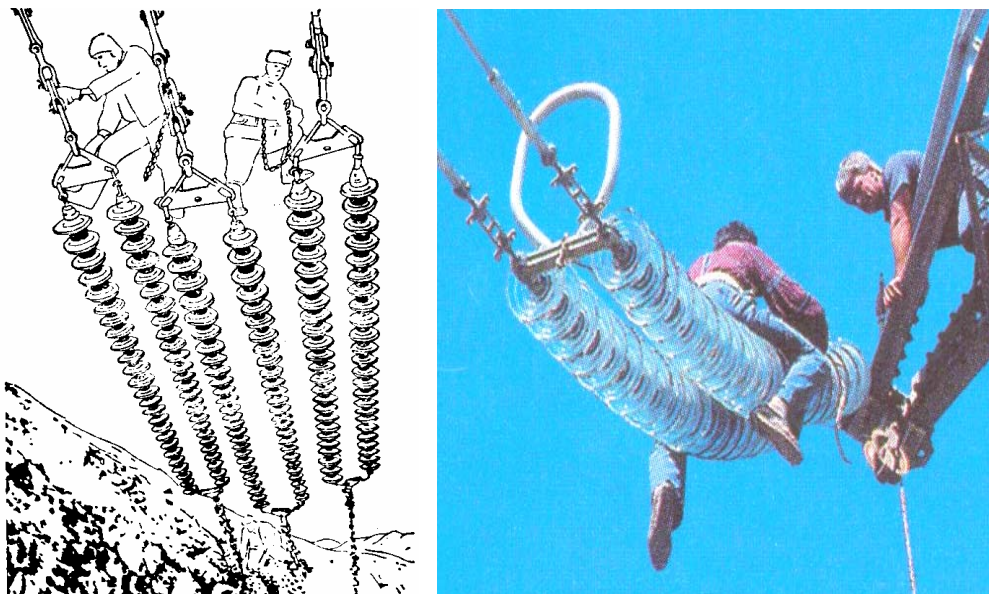
Слика. Челично-решеткасти столбови: Носечки портален столб за 750 kV напон (горе) и двосистемски 110 kV аголно-затезен столб (долу)

Височината на столбовите H се определува во основа со сумирање на: сигурносната височина H_s , максималниот провес f и должината на изолаторот односно *изолаторскиот синџир λ* (сл.2.4).

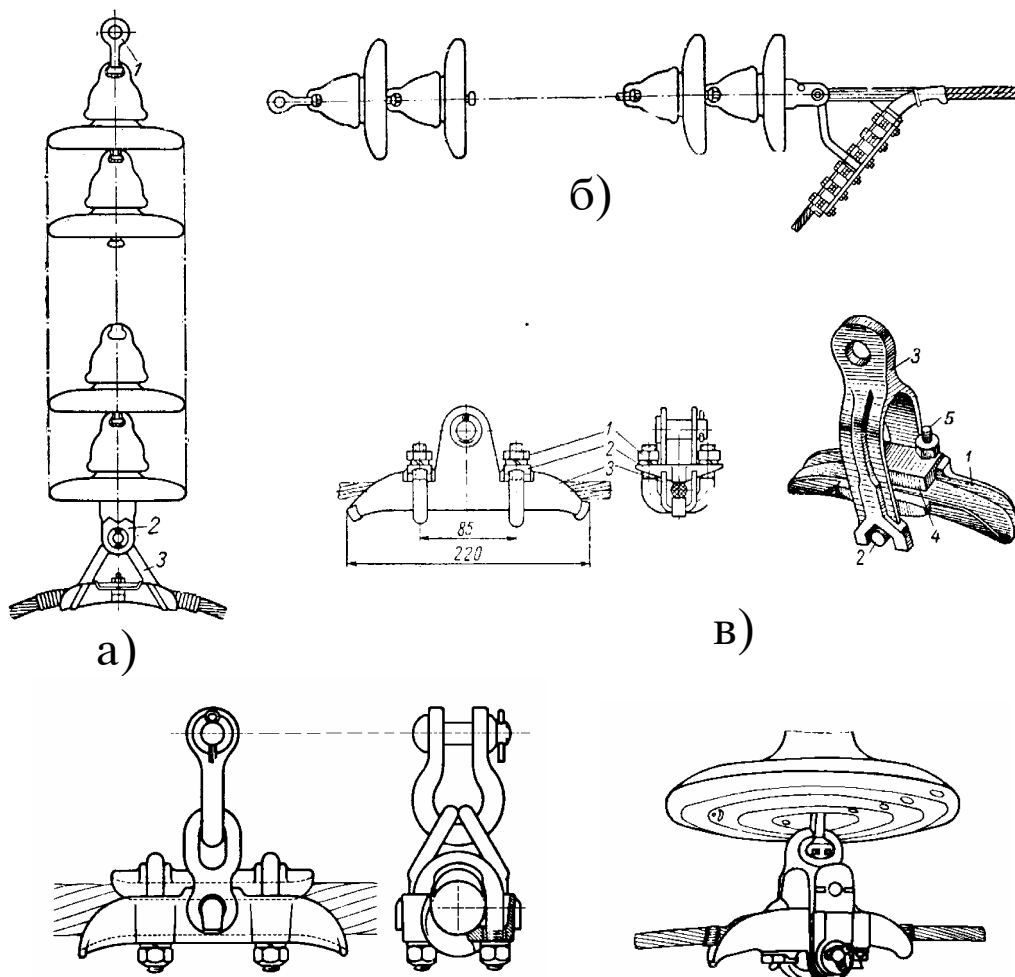


Слика. Капест изолатор (стаклен) – основен елемент од којшто се составени изолаторските синџири

Бројот на изолаторските елементи (членови) во изолаторскиот синџир зависи од напонот на водот и од типот на употребените изолаторски елементи во него. Кај нас изолаторските синџири за напон 10 и 20 kV содржат 1 – 2 елементи, за напон 35 kV 3 – 4 елементи, за напон 110 kV 6 – 7 елементи, за напон 220 kV 11 – 13 елементи и за напон 380 kV 17 – 21 елемент (слика 2.5).



Изглед на изолаторски синџири за 500 kV вод



Слика 2.5. Изолаторски синџири кај надземните водови

- а) Носечки (висечки) синџир б) Затезен изолаторски синџир
в) Носечка стегалка (арматура) за прицврстување на спроводникот



Слика. (Споен и заштитен прибор за ВН водови (арматура))

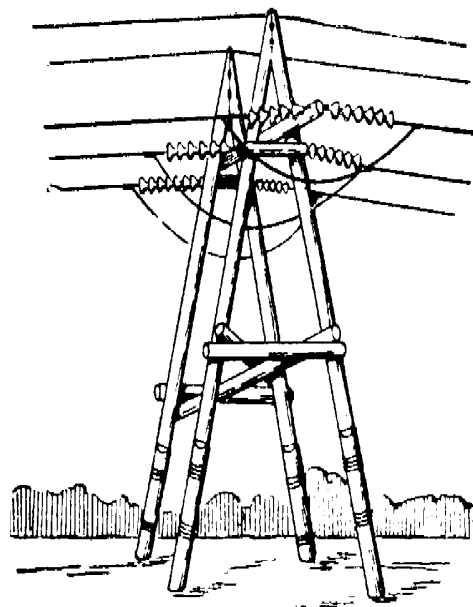
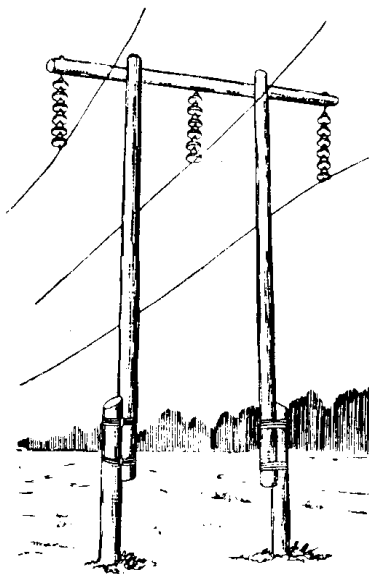
Должината на **распонот a** обично ја определуваат економските фактори, бидејќи со зголемувањето на распонот се зголемува провесот, што условува зголемување на височината на столбовите, односно зголемување на нивната цена, но притоа бројот на употребените столбови (а со тоа и бројот на употребените изолатори, заедно со припадниот обесувачки и споен прибор) се намалува. Затоа во конкретните услови треба да се определи вредноста на таканаречениот „**економски распон**“, т.е. распон за кој **вкупните трошоци** за изградба на водот ќе бидат најмали.

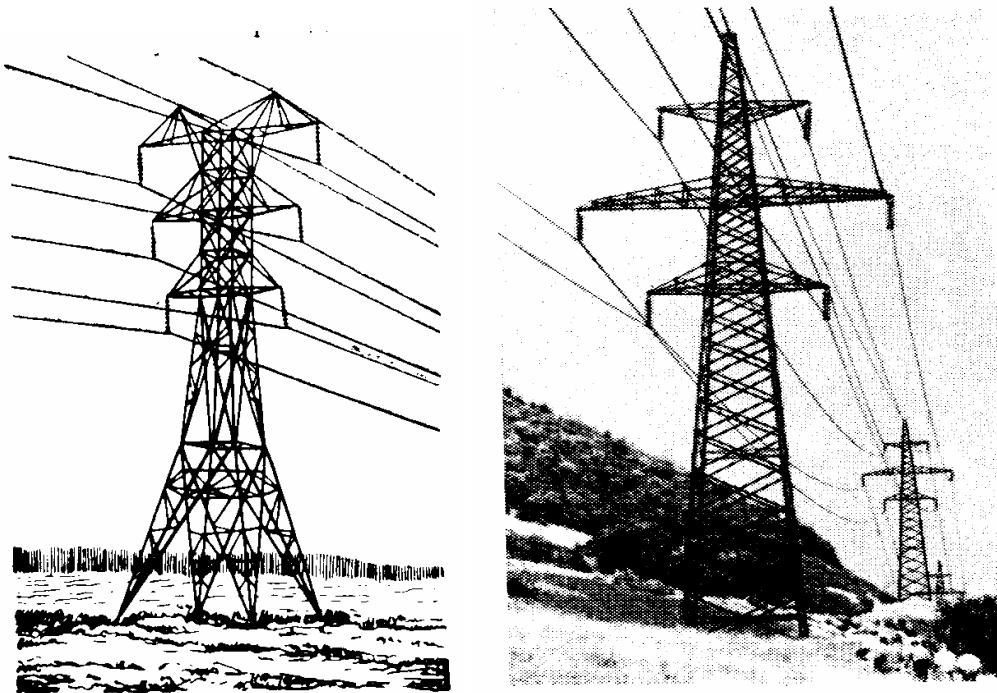
За да се има увид во големините на распоните што се применуваат кај надземните водови, ќе наведеме дека за водови со челично-решеткасти столбови распоните за поедините водови со разни напонски нивоа се движат во границите како што е тоа прикажано во табелата 2.3.

Табела 2.3. Просечни вредности на распоните кај надземните водови со челични-решеткасти столбови

Номинален напон U_n (kV)	Просечен распон a (m)
35	160 – 250
110	250 - 400
220	300 - 400
380	380 - 430

Најголемиот процент од столбовите кај секој далекувод се таканаречените „*носечки столбови*“ (сл. 2.6 а, в, г). Овие столбови се наменети главно за прифаќање на вертикалните сили со кои спроводниците и јажињата дејствуваат вертикално надолу поради својата тежина и тежината на евентуално нафатениот снег и мраз на нив. Меѓутоа, од причини на сигурност и локализирање на хавариите до кои доаѓа повремено кај далекуводите под дејство на ветрот и нафатените додатни товари од снег и мраз, на секои **3 – 5 km** се поставуваат поробусни столбови, кои освен вертикални сили прифаќаат и значителни хоризонтални сили. Овие столбови се нарекуваат „*затезни столбови*“. При скршнување на трасата на далекуводите на местото на скршнувањето исто така, се поставуваат затезни столбови кои се нарекуваат „*аголно-затезни столбови*“ (сл. 2.6 б).





Слика 2.6. Видови на столбови кај надземните водови

- а) Дрвен, носечки б) Дрвен, аголно-затезен
в) Метален 110 kV, носечки г) Метален 220 kV, носечки

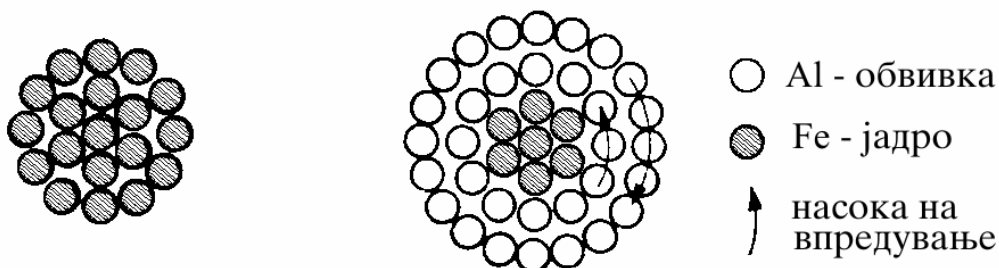
Спроводниците за електроенергетските водови најчесто се изработуваат во вид на **јаже**, формирано со впредување на округли жици со дијаметар од 1,44 до 4,55 mm. За постигнување на поголем попречен пресек на јажето се зголемува бројот на впредените жици.



Слика. Спроводник во форма на јаже за надземен вод

За надземните водови се употребуваат спроводници (јажиња) од **алуминиумски жици**, од **челични жици** (само за заштита на водот од директните атмосферски празнења) и од комбинација на алуминиумски и челични жици, таканаречените **алучел-јажиња**. Кај последниве внатрешниот дел, кој се нарекува и **челично јадро**, се состои од определен број челични жици и има задача да преземе на себе дел од аксијалните сили на затегање на кои е изложено јажето.

Челичното јадро е обвито со неколку слоеви алуминиумски жици, наречени алуминиумова **обвивка**. Тие претставуваат главен (над 98%) спроводен дел на јажето.



Хомогено јаже б) Комбинирано Al/Fe јаже

Слика. Алучел-јаже за надземен вод

За високонапонските (ВН) надземни водови е задолжителна употребата на алучел-јажињата, додека кај нисконапонските (НН) мрежи спроводниците се најчесто јажиња од алуминиум.

Во стручната и техничка документација јажињата од алуминиум и комбинирани алучел јажиња се означуваат со стандардизирани ознаки. Кај нас се од април 1995 г. на сила МКС-стандардите кои се практично идентични со некогашните JUS стандарди и прописи. Така, на пример, ознаката за алуминиумско јаже со номинален попречен пресек 35 mm^2 гласи: **E-Al јаже 35 МКС.N.C1.302**. Од друга страна, на пример, алучел-јажето со номинален пресек на алуминиумскиот дел од 240 mm^2 и номинален пресек на челичниот дел од 40 mm^2 ја има следната ознака: **Al/Ѓ јаже 240/40 МКС.N.C1.351**.

Некои податоци за **алуминиумските јажиња** (според МКС.N.C1.502) се дадени во табелата 2.4. Во табелата 2.5 се дадени некои од поважните податоци за комбинирани **алучел-јажиња** (според МКС.N.C1.351).

Податоците за **трајно дозволените струи I_d** од овие табели се однесуваат на условите кога температурата на воздухот изнесува $\theta_o = 40^\circ\text{C}$, така што со наведените струи (при отсуство на ветер) температурата на спроводниците би ја достигнала својата максимална дозволена вредност $\theta = 80^\circ\text{C}$. Меѓутоа, доколку температурата на околниот воздух е помала од $\theta_o = 40^\circ\text{C}$, тогаш спроводниците ќе можат струјно повеќе да се оптоварат. Притоа, **дозволеното струјно оптоварување** на спроводниците **I'_d** во новите услови може да се

добие со корекција на вредностите од табелите 2.4 и 2.5, според релацијата:

$$I'_d = k_f \cdot I_d. \quad (2.1)$$

Зависноста на корекциониот фактор k_f од температурата на околниот воздух θ_o е дадена во табелата 2.6.

Табела 2.4. Конструкција и состав на хомогените јажиња од алуминиум (Al), според МКС.N.C1.502

Номинален пресек (mm ²)	Вистински пресек (mm ²)	Состав на јажето број и пречник на жиците, (mm)		Надворешен пречник d (mm)	Активна отпорност r_{20} (Ω/km)	Трајно дозволена струја (A)
16	15,89	7	1,7	5,1	1,802	90
25	24,25	7	2,1	6,3	1,181	120
35	34,36	7	2,5	7,5	0,833	150
50	49,48	7	3,0	9,0	0,579	185
70	65,82	7	2,1	10,5	0,437	225
95	93,27	19	2,5	12,5	0,309	285
120	117,00	19	2,8	14,0	0,246	330
150	147,10	37	2,25	15,7	0,196	380
185	181,60	37	2,5	17,5	0,159	435
240	242,50	61	2,25	20,2	0,119	515
300	299,40	61	2,5	22,5	0,080	600
400	400,10	61	2,89	26,0		
500	499,80	61	3,23	29,1		
600	586,00	61	3,5	31,5		
700	710,00	61	3,85	34,7		

Табела 2.5. Конструкција и состав на комбинираните алуцел-јажиња Al/Ѓ , според МКС.N.C1.351

Номинален пресек (mm ²)	Вистински пресек (mm ²)	Al-плашт број и пречник на жиците, mm		Ѓ-јадро број и пречник на жиците, mm		Надвор. пречник d (mm)	Активна отпорност r_{20} (Ω)	Трајно дозволена струја (A)
16/2,5	15,3/2,6	6	1,80	1	1,80	5,4	1,879	90
25/4	23,8/4,0	6	2,25	1	2,25	6,8	1,203	125
35/6	34,3/5,7	6	2,70	1	2,70	8,1	0,835	145
50/8	48,3/8,0	6	3,20	1	3,20	9,6	0,595	170
70/12	69,9/11,4	26	1,85	7	1,44	11,7	0,413	235
95/15	94,4/15,3	26	2,15	7	1,67	13,6	0,306	290
120/20	121,6/19,5	26	2,44	7	1,90	15,5	0,237	345
150/25	148,9/24,2	26	2,70	7	2,10	17,1	0,194	400
185/30	183,8/29,8	26	3,00	7	2,33	19,0	0,157	455
210/35	209,1/34,1	26	3,20	7	2,49	20,3	0,138	490
240/40	243,0/39,5	26	3,45	7	2,68	21,9	0,119	530
360/57	360,2/57,3	26	4,20	19	1,96	26,6	0,080	675
490/65	490,3/63,6	54	3,40	7	3,40	30,6	0,059	840
170/40	171,8/40,1	30	2,70	7	2,70	18,9	0,168	435
240/55	241,3/56,3	30	3,20	7	3,20	22,4	0,119	530
350/80	349,3/78,9	30	3,85	19	2,30	26,9	0,083	675
490/110	487,8/111	30	4,55	19	2,73	31,7	0,059	840
50/30	51,2/29,8	12	2,33	7	2,33	11,7	0,564	
95/55	96,5/56,3	12	3,20	7	3,20	16,0	0,389	
120/70	122,0/71,3	12	3,60	7	3,60	18,0	0,299	
75/80	74,8/78,9	18	2,30	19	2,30	16,1	0,236	

Табела 2.6. Зависност на корекциониот фактор k_f од температурата на амбиентот

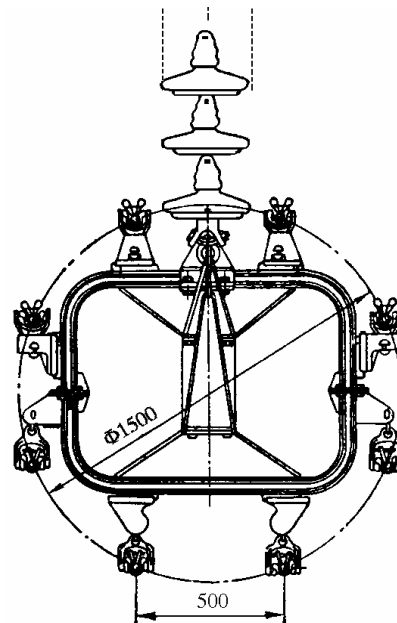
θ_o (°C)	40	30	20	10	0
k_f	1,00	1,12	1,22	1,30	1,36

Во врска со табелите 2.4 и 2.5 треба да се забележи дека во нив се дадени податоците само за некои (почесто употребувани) јажиња, а не за сите типови јажиња содржани во наведените стандарди. Во овие табели под *пресмејковен* (или *висџински*) пресек се подразбира сумата на геометриските пресеци на поедините жици од кои е изведено јажето. Наведените активни отпорности r_{20} на јажињата се однесуваат на температурата $\theta = 20^\circ\text{C}$, и тие се ориентациони.

За заштита на надземните водови од атмосферски празнења се користат заштитни (*громобрански*) јажиња, поставени над фазните спроводници. Заштитните јажиња најчесто се изработуваат од *челик*, со пресек 35, 50 и 70 mm². Кај водовите со номинален напон 380 kV, а понекогаш и кај водовите со пониски номинални напони, заштитните јажиња се изработуваат од специјални легури на алуминиумот (*алумовелд* AW и *алдреј* и слично) или пак за таа цел се користат *алучел-јажињата*.

За водови со напон повисок од 220 kV, како спроводници се користат и по неколку алучел-јажиња за секоја од фазите (*спроводници во сноп*).

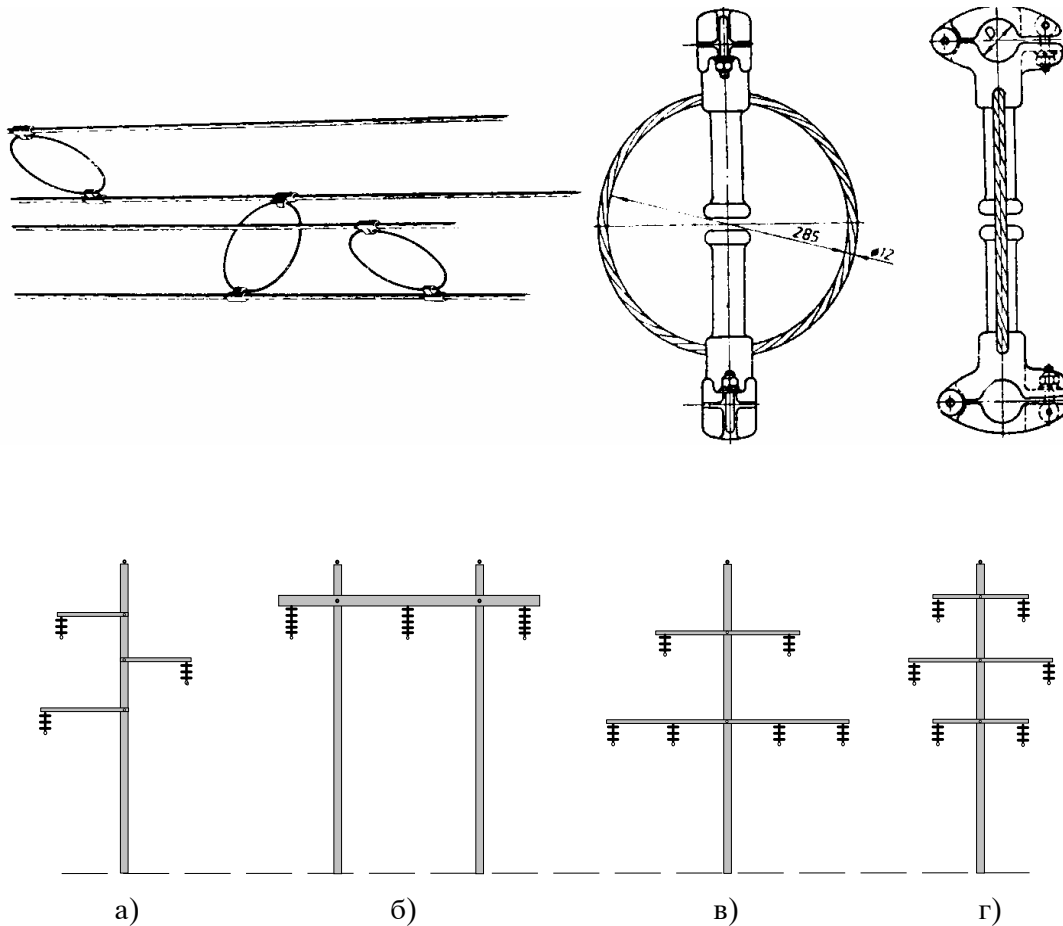
Со тоа се постигнува поголема *пропусна способност* на водот, поголем напречен пресек по фаза (помала активна отпорност по фаза) и порамномерно електрично поле околу спроводниците и ослабување или елиминирање на *короната*².



Слика. Сноп од спроводници кај еден 1150 kV надземен вод

² *Короната* претставува појава кога под дејство на *јакото електрично поле* во близината на спроводниците доаѓа до јонизација на воздухот. Таа е извор на активни загуби (за што ќе стане подетално збор во следната глава), извор на радио пречки и генератор на агресивни гасови (озон и сл.).

Во овие случаи растојанието помеѓу спроводниците во снопот изнесува околу 40 см. За да се одржува ова растојание помеѓу спроводниците во просторот, по должината на распонот се поставуваат специјални елементи, наречени *расстојници* (сл. 2.7).



Слика 2.8. Можни распореди на фазните спроводници

- а) Триаголен распоред; б) Хоризонтален распоред
в) Распоред во два триаголника г) Распоред во вид на бочва

Слика 2.7. Спроводници во сноп и расстојници кај надземните водови

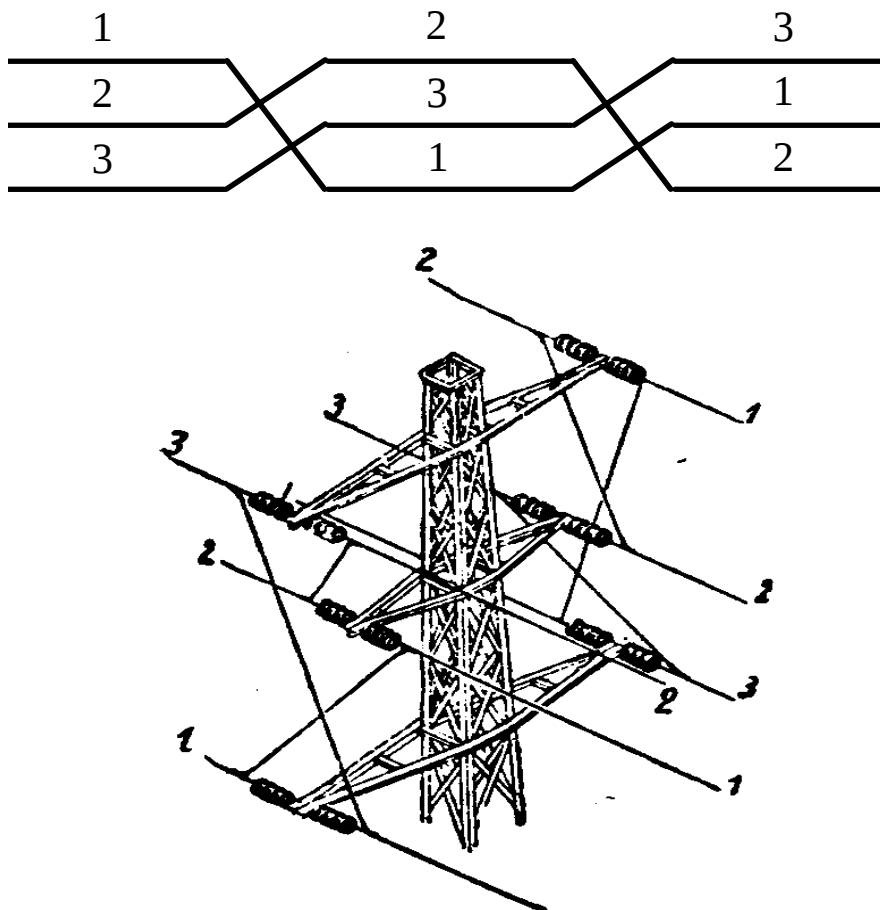
Меѓусебниот распоред на фазните спроводници, т.е. *диспозицијата* на спроводниците на главата на столбовите, може да биде различен. Во таа смисла разликуваме:

- *распоред во триаголник* (сл. 2.8 а),
- *хоризонтален распоред* (сл. 2.8 б),
- *распоред на два триаголника* (сл. 2.8 в),

➤ *распоред во вид на бочва* (сл. 2.4 г) и други.

Притоа, распоредот на спроводниците како на сликите 2.8 а, 2.8 в и 2.8 г најчесто се користи за водовите со напон до 220 kV, додека распоредот прикажан на сликата 2.8 б обично се користи кај водовите со напон 220 kV и повеќе.

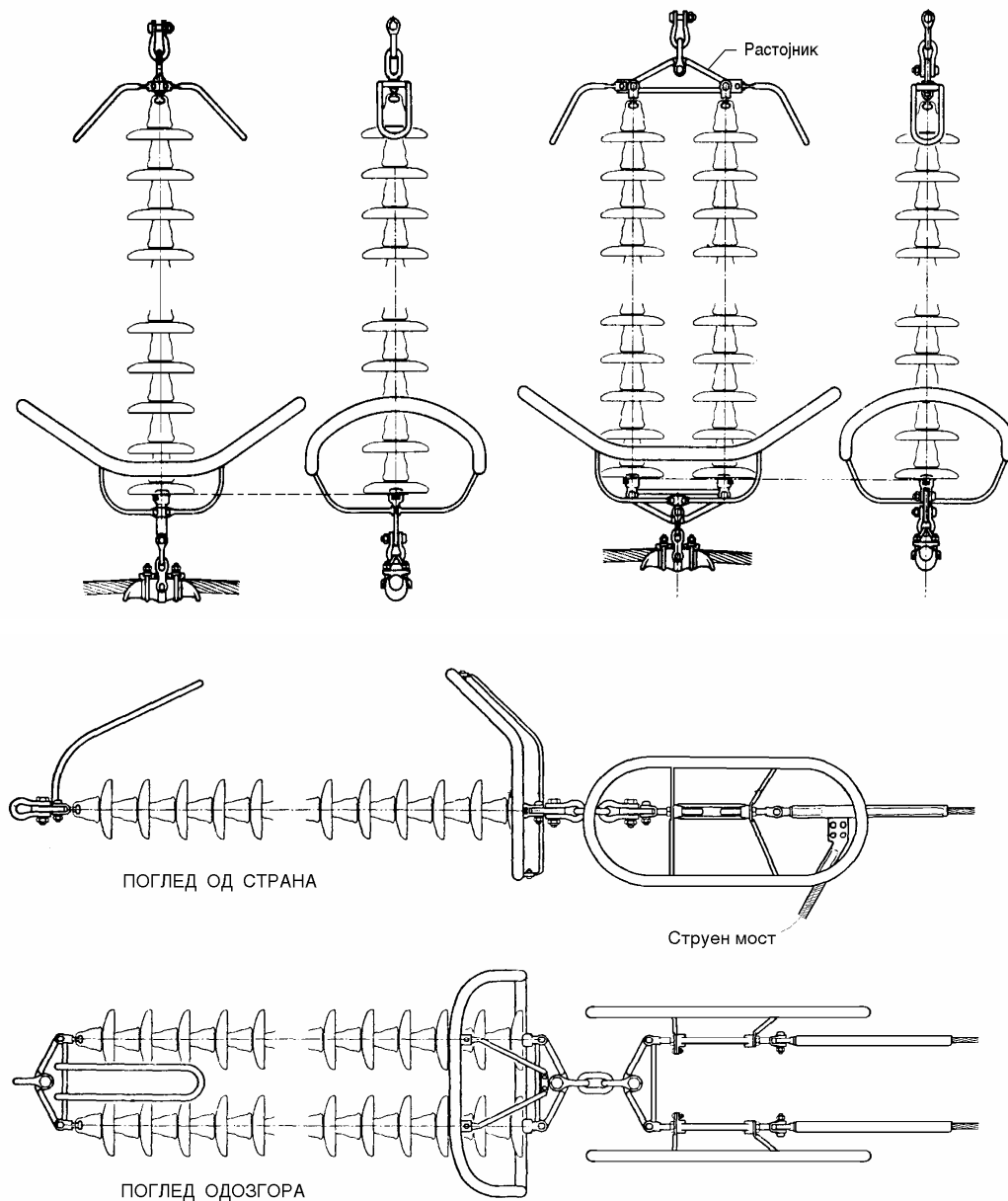
Разликата во меѓусебните положби на спроводниците на различни фази условува разлики во електричните параметри на поедините фази. За надминување на овие неусогласености се применува *транспозиција* (вкрстосување) на спроводниците (сл. 2.9). За таа цел водот се дели на три еднакви дела и секој фазен спроводник во секоја третина од водот зазема друга позиција. На водовите со должина до 100 km транспозиција не се врши.



Слика 2.9. Транспозиција на фазните спроводници и столб за транспозиција

Громобранските јажиња се поставуваат над спроводниците на надземниот вод за да ги *прифатат* врз себе евентуалните *атмосферски празнења*. Вообичаено е тие да се *за-*

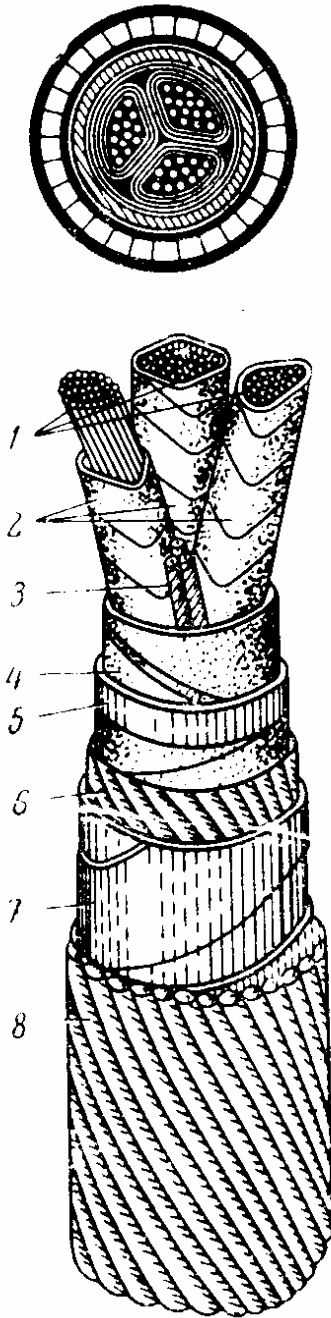
земјуваат (т.е. галвански да се поврзуваат за телото на столбот) при секој столб на водот. Притоа, поради несиметричната положба на громобранското јаже во однос на трите фазни спроводници, како и поради евентуална несиметрија на струите во поедините фази, во громобранските јажиња се индуцираат определени струи, кои се извор на дополнителни загуби на моќност во преносот. Овие загуби се забележливи кај водовите со највисок напон.



Слика. Изолаторски синџири (вериги) за ВН наземени водови (комплет, заедно со заштитните рогови и прстени):

- Висечки (носечки) – единечен и двоен (горе);
- Затезен (двоен) – долу.

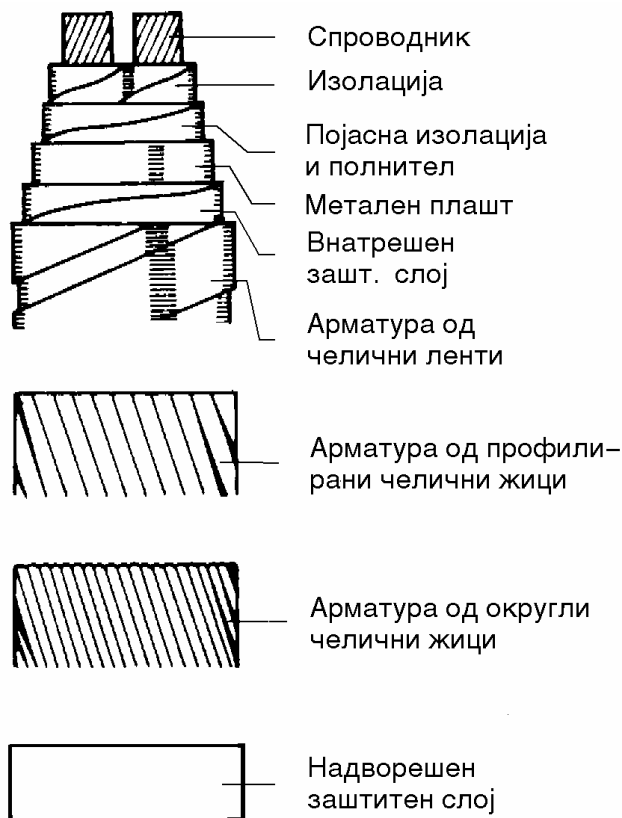
2.4. КАБЕЛСКИ ВОДОВИ



Слика 2.10. Изглед на трифазен 10 kV класичен појасен кабел со изолација од импрегнирана хартија (IP)

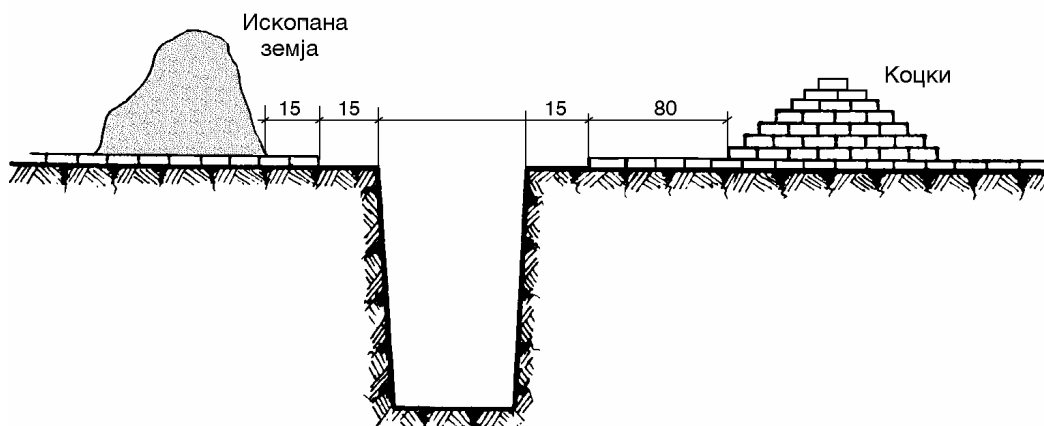
- 1) Бакарни или алуминиумски жили; 2) Фазна изолација од импрегнирана хартија (IP); 3) Полнител од јута; 4) Појасна изолација од импрегнирана хартија; 5) Оловен (или алуминиумски) плашт; 6) Заштитен слој од јута; 7) Арматура (оклоп од челични ленти); 8) Надворешен заштитен слој од јута.

Под поимот **електроенергетски кабел** подразбираме извесен број спроводници направени од добро спроводен материјал (**бакар**, **алуминиум**), изолирани како во однос на околината, така и во однос еден на друг, сместени во заедничка обвивка (**плашт**) која го штити кабелот од надворешните влијанија (влага, механички оштетувања, корозија и др.) (сл. 2.10).

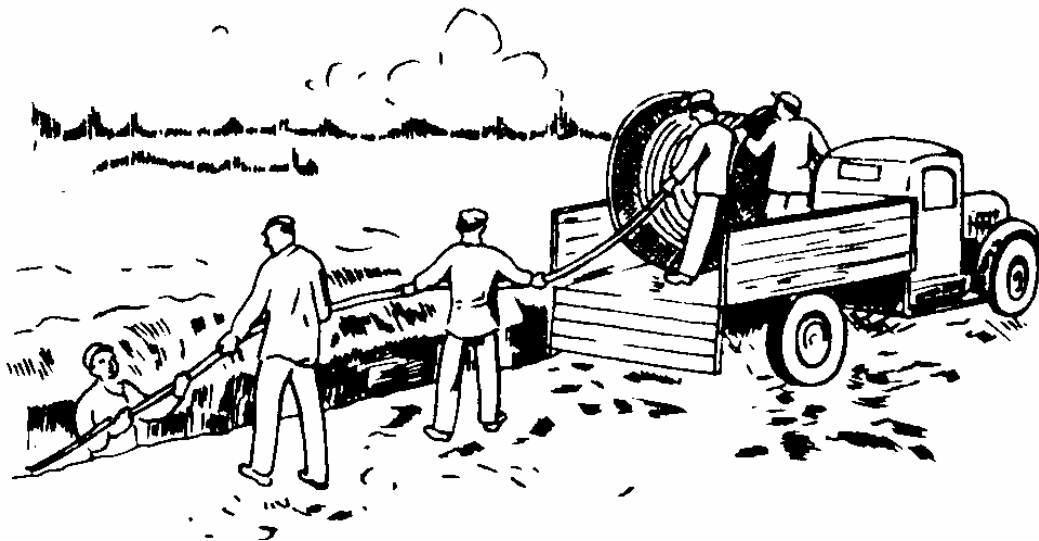


Слика. Конструктивни елементи на еден класичен кабел

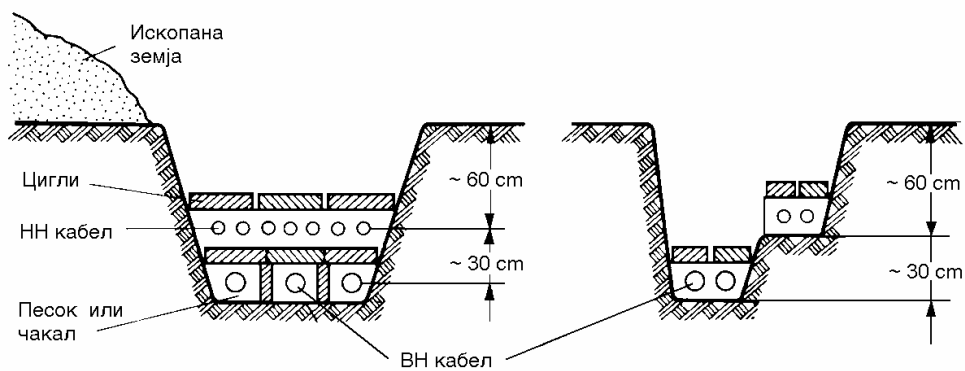
Каблите можат да бидат поставени **директно во земјата**, во **вода**, во **воздух** или во специјални **кабелски канали**.



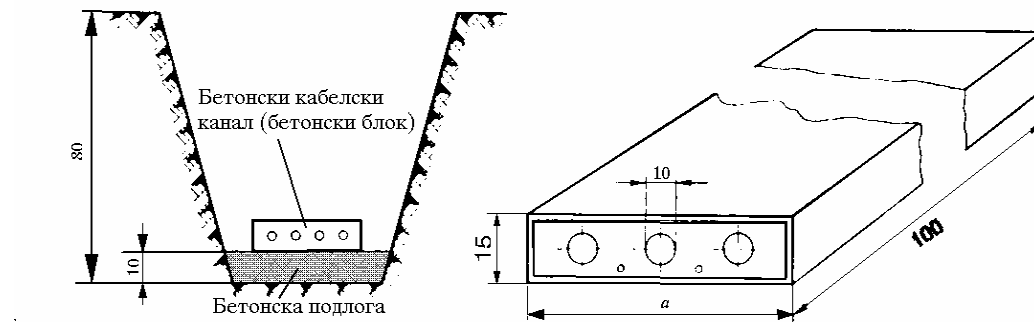
Слика. Изглед и димензии на кабелски ров пред полагање на кабелот



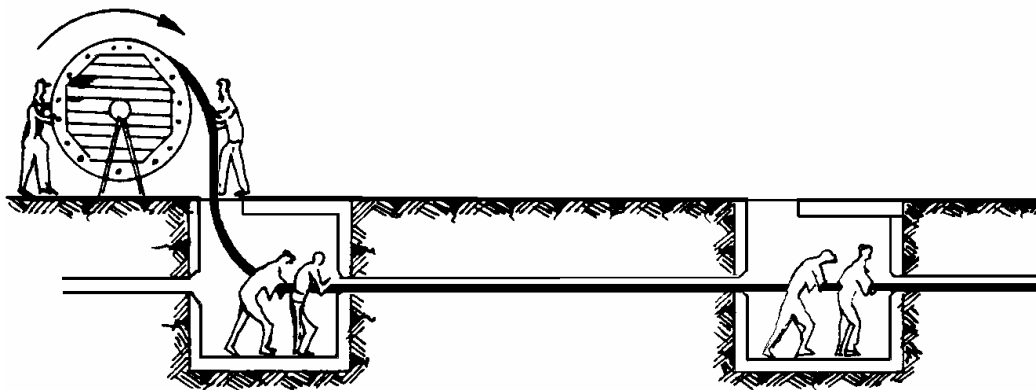
Слика. Рачно полагање на енергетски кабел во кабелски ров



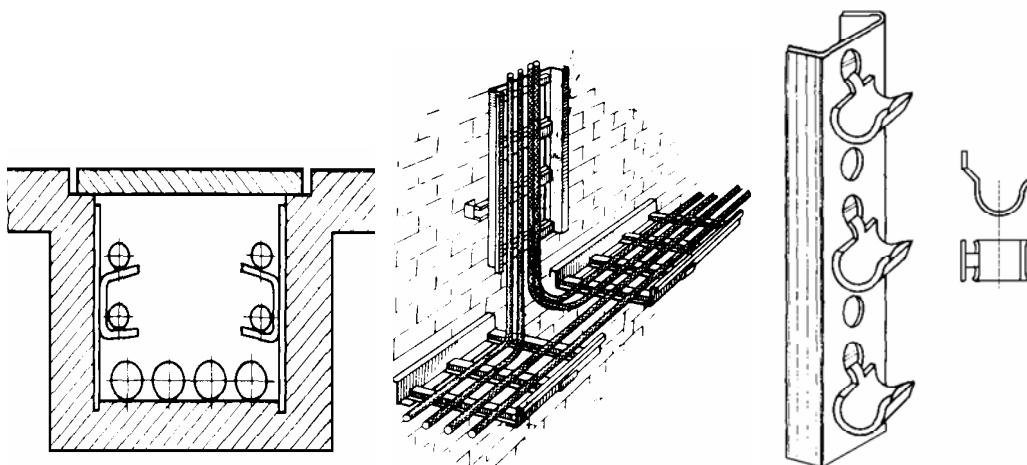
Слика. Поголем број кабли поставени во кабелски ров



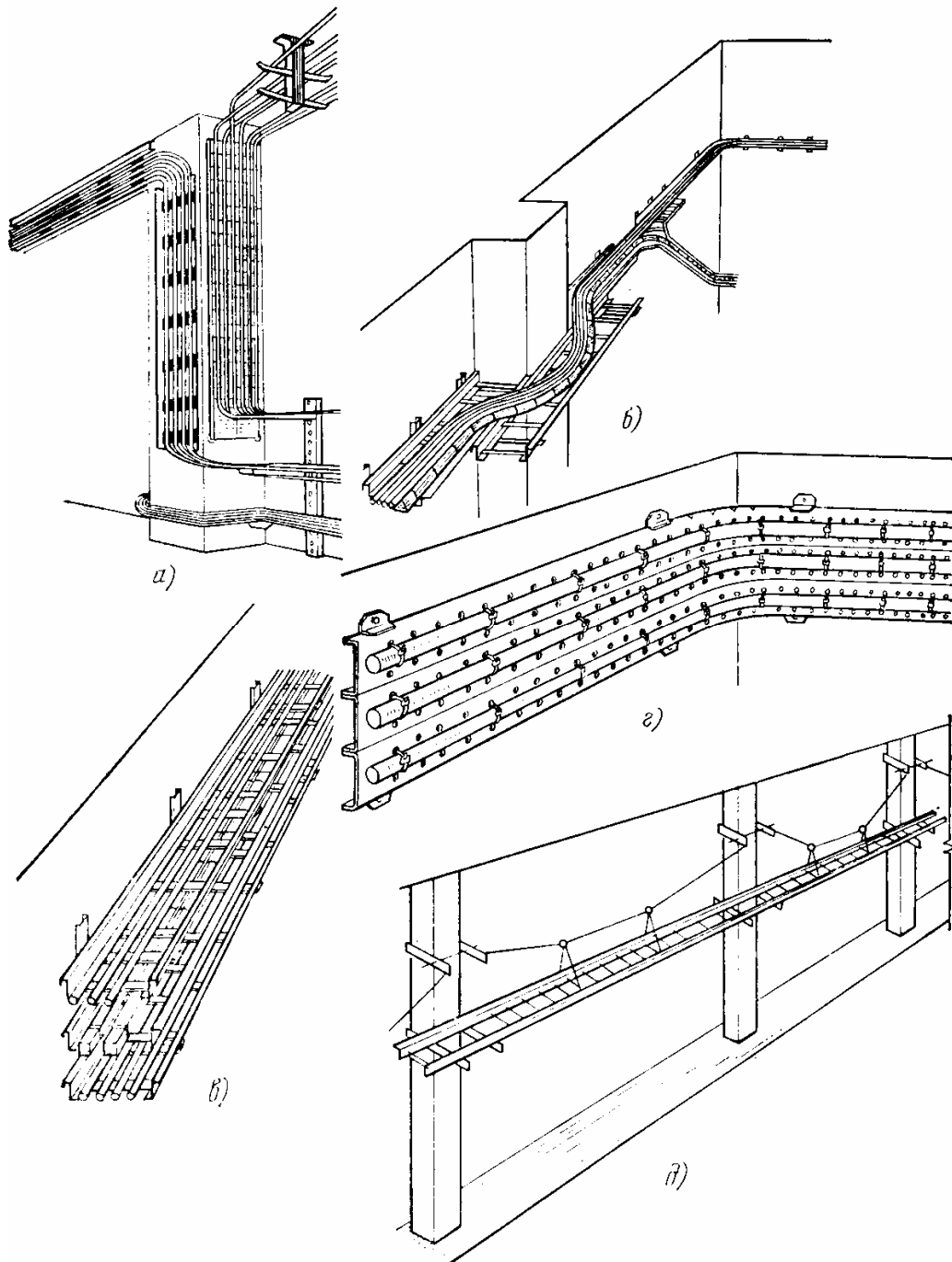
Слика. Кабли поставени во бетонски блокови (кабловици)



Слика. Полагање на кабел во кабелска канализација



Слика. Кабли поставени во кабелски канал (лево); и водење на кабли на кабелски регали (десно); специјална конструкција за водење на кабли по ѕид (сосема десно)



Слика. Различни начини на водење на кабли поставени во воздух:

- а) на сид; б) на кабелски решетки; в) на кабелски регали;
г) вертикално на сид; д) на специјални конструкции

Кабелските водови се значително **поскапи** од надземните. Меѓутоа, во голем број случаи (градски дистрибутивни мрежи, индустриски мрежи) од низа **причини** (**технички**, **естетски**, **урбанистички** и др.) нивната примена е неопходна, па дури и задолжителна (близина на аеродром, премин преку железничка пруга и слично).

Спроводниците на каблите се изработуваат од бакар или алуминиум со висок степен на **чистота**. Спроводникот заедно со соодветната изолација околу него образува **жила**. Според бројот на жилите разликуваме: **едножилни**, **двожилни**, **трижилни** и **четирижилни** електроенергетски кабли.

Едножилните кабли главно се применуваат за водови со наизменична струја, со номинален напон 110 kV и повеќе, но во последно време едножилните кабли широко се применуваат и за водови со номинален напон 35 kV, па и 20 kV.

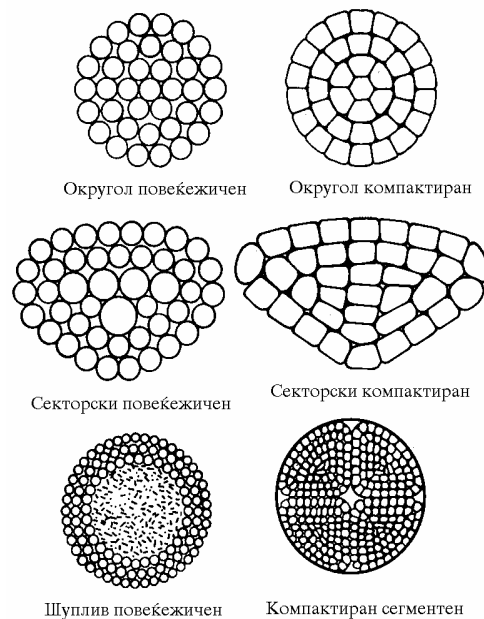
Двожилните електроенергетски кабли се користат само за водови со еднонасочна струја.

Трижилните електроенергетски кабли се користат за трифазни водови за сите напони до 35 kV вклучително.

Четирижилните електроенергетски кабли се користат за четирипроводните трифазни водови, кои се најчесто со низок напон (до 1000 V).

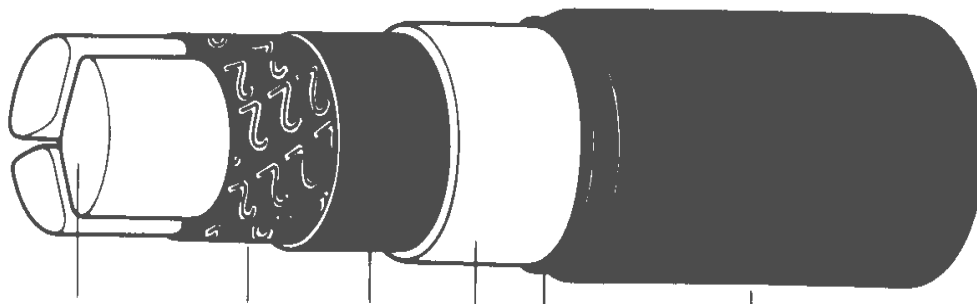
Спроводниците на поедините жили од кабелот можат да бидат **полна округла жица** или **јаже** (впредено).

Множеството на жилите на кабелот го претставува неговиот „**активен дел**“, кој се нарекува **јадро на кабелот**. Бидејќи тежината и цената на надворешните слоеви зависи од пречникот на јадрото, се настојува да се постигне што е можно повисок „**фактор на пополнетост**“ на спроводниците.



Затоа, поедините жици во јажето често се профилираат наместо да бидат округли, а таквите жили се нарекуваат „**компактирани**“.

Онаму каде што тоа го допушта јачината на електричното поле (повеќежилни кабли со голем пресек и со напон до 10 kV), се применуваат и таканаречените „**секторски спроводници**“ (сл. 2.11) кои немаат кружен пресек.

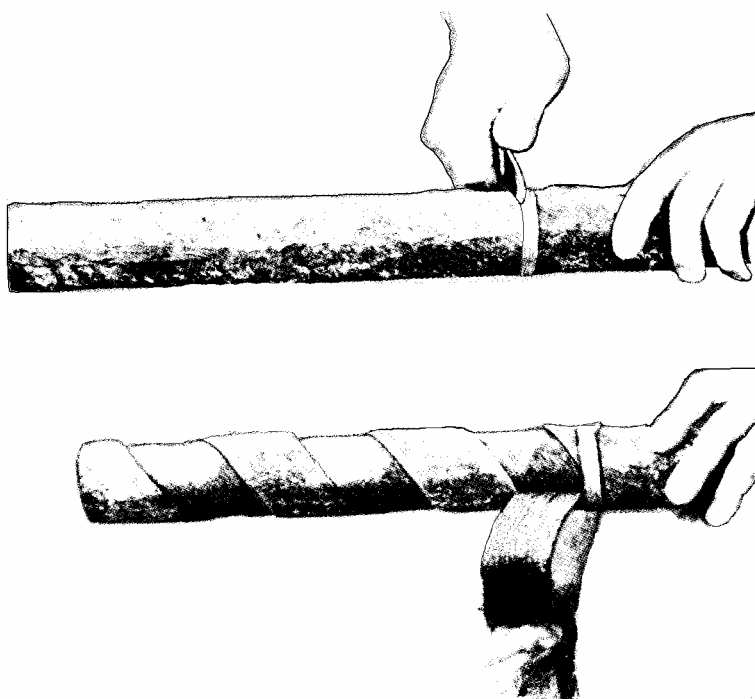


Слика 2.11. Кабли со секторски пресек

- а) Изглед на спроводник со секторски пресек
- б) Кабли со секторски пресек од типот „Solidal“

Околу јадрото на кабелот се поставува безрабна и херметички непропусна обвивка од олово, алуминиум или поливинилхлорид (PVC) – таканаречен **плаш**. Плаштот има задача да го **штити јадрото** на кабелот и неговата изолација **од продорот на влагата** и другите штетни и агресивни материи во јадрото на кабелот.

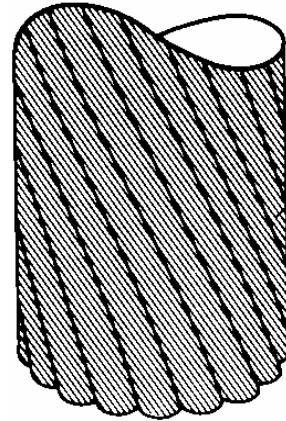
Честопати врз плаштот кабелот може да има уште една изолациона обвивка и **бандаж** во облик на **метална лента** намотана над плаштот. Лентата обично е направена од **поцинкуван челик**, но поради избегнување на феромагнетизмот (индуцирање на струи во лентата и појава на дополнителни загуби) лентата се прави и од **легиран бакар**.



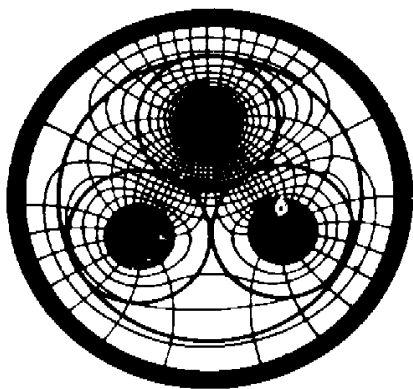
Слика Метални ленти (бандаж) како механичка заштита на кабелот

Кога се очекува кабелот да биде изложен на механички напрегања и кога постои можност за механички оштетувања (на пример, кабли во индустрија, јагленокопи, руднички кабли и др.), над бандажот се поставува уште и **арматура**. Арматурата се состои од **челични поцинкувани жици** со кружен или правоаголен пресек, спирално намотани (со долг чекор) околу бандажот. Преку оваа механичка заштита доаѓа повторно нов слој – **антикорозивна заштита** од импрегнирана ткаенина, PVC и друго.

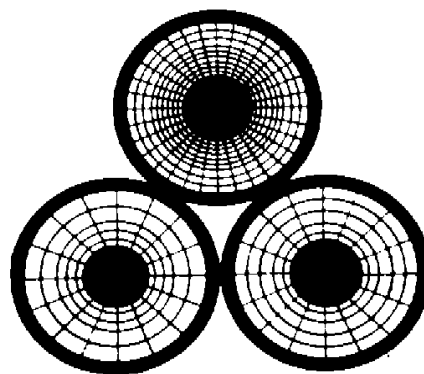
Кај каблите со среден и висок напон, еден од основните проблеми се електричните напрегања на изолацијата и **регулацијата на електричното поле**. Затоа кај каблите со номинален напон 20 kV и повеќе, чишто жили се изведени во вид на јаже, преку спроводникот се врши намотување на спроводна лента или слој од карбонизирана хартија, која со додаток на графит е направена да биде спроводна.



Со тоа се врши „мазнење“, т.е. „**гладење**“ на електричното поле во близината на површината на спроводникот, бидејќи, во спротивно, поради нерамномерната површина, полето би било исто така нерамномерно.



а) Појасен кабел



б) Заштитен Н - кабел

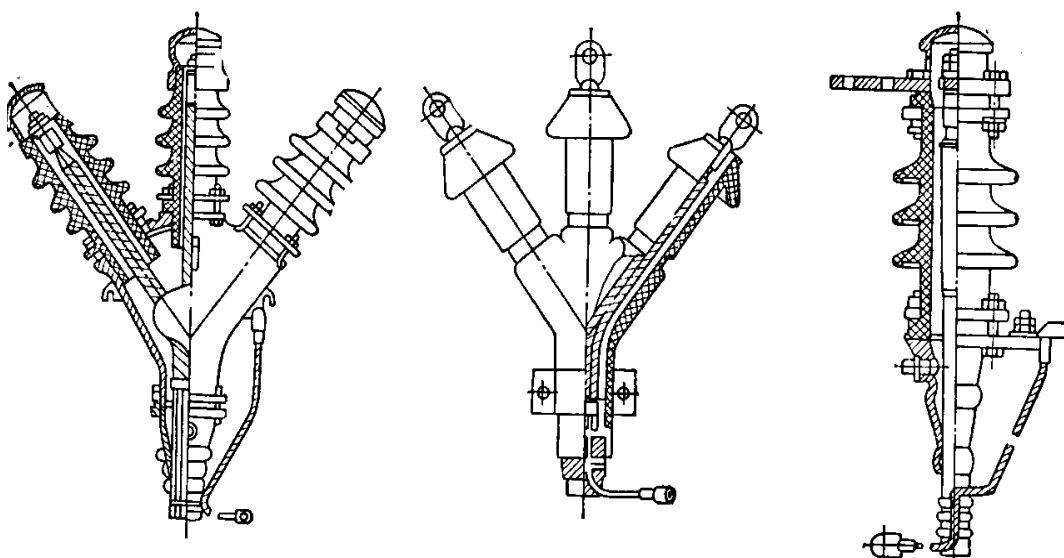
Слика 2.12. Електрично поле во трифазен појасен кабел

а) без екранирање на жилите ; б) со екранирање на жилите

Покрај тоа, секоја жила кај овие кабли преку изолацијата добива своја **метална обвивка**, која во погонски услови се наоѓа на потенцијал на земјата. Металната обвивка

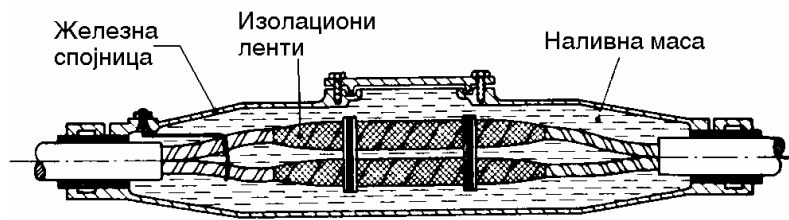
најчесто се изведува од алуминиумска обвивка (*екран*) и служи само за *регулација* на електричното поле во изолацијата, т.е. за постигање на *радијално електрично поле* околу секоја жила и порамномерно напрегање на електричната изолација (сл. 2.12 а и 2.12 б).

Изолацијата кај „класичните“ кабли е повеќеслојна хартија. *Хартијата* е од специјален вид, со дебелина околу 0,1 mm и ширина од 15 до 25 mm. Сувата хартиена лента се мота најнапред околу спроводникот во потребниот број слоеви, а потоа, во услови на вакуум, таа се ослободува и од последните остатоци на влагата и се импрегнира со квалитетно изолационо масло. Веднаш по импрегнирањето кабелот добива метален плашт, со што се спречува продорот на влагата во изолацијата. Каблите со друг вид изолација (гума и разни видови термопластични вештачки материји) имаат предност во однос на класичните кабли со изолација од импрегнирана хартија, главно поради поедноставната изведба и експлоатација на кабелските водови, т.е. поради поедноставната изведба на *кабелските спојници* (*муфови*) и *кабелските завршници* (*кабелски глави*) (сл. 2.13).

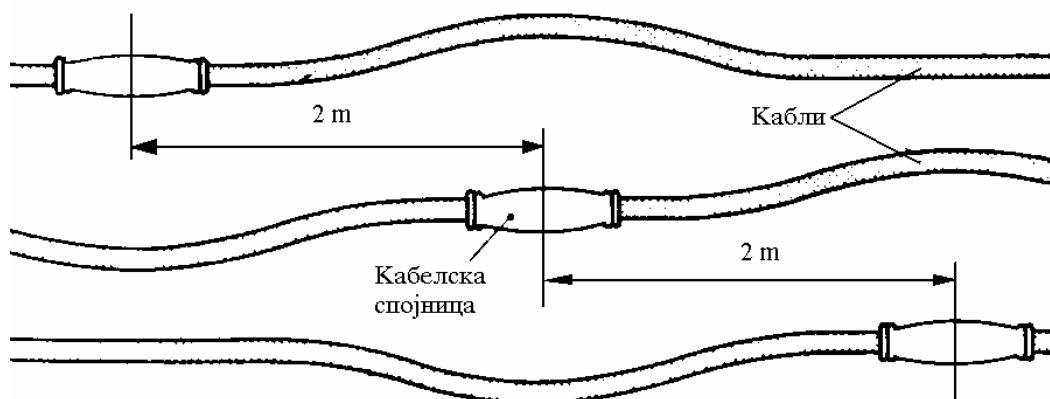


Слика 2.13 а. Кабелски глави (кабелски завршници)

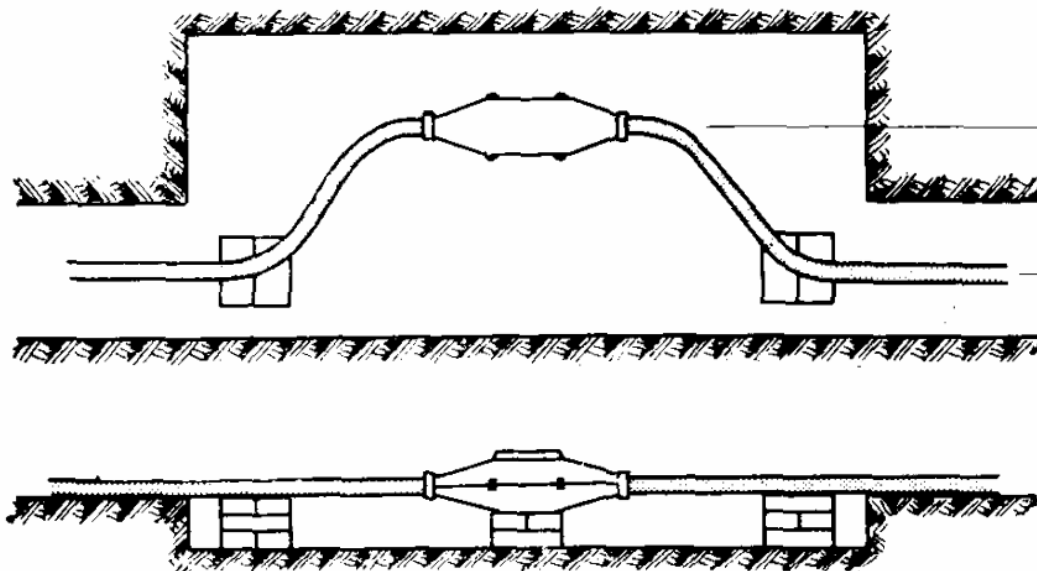




Слика 2.13 а. Кабелски спојници (кабелски муфови)



Слика. Спојување на едножилни кабли со кабелски спојници



Слика 2.13 б. Спојување на трижилен кабел, положен во земја со кабелска спојница (кабелски муф)

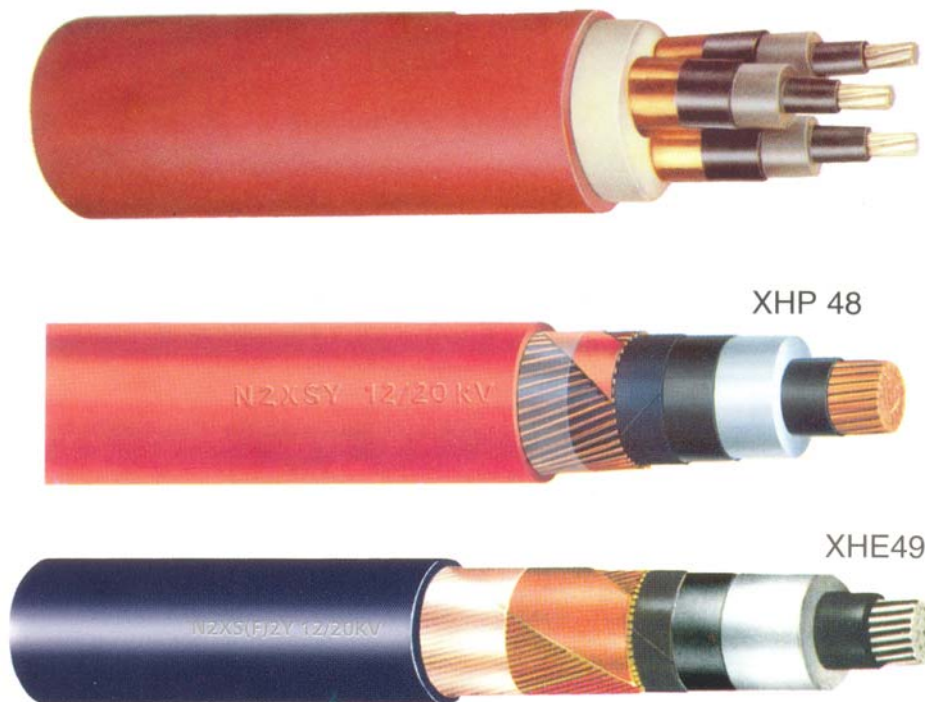
Термопластичните материји како што се поливинилхлоридот (PVC) и полиетиленот (PE) се користат како изолација кај електроенергетските кабли во последно време многу почесто. Светски тренд е тие да ги заменат о целост класичните кабли со изолација од импрегнирана хартија (IP).



Слика. Класични кабли со изолација од импрегнирана хартија (IP): четирижилен, за нисок напон (1 kV) лево и 35 kV трижилен кабел



Слика. Кабли со изолација од PVC: четирижилен, за нисок напон (1 kV) лево и 10 kV трижилен кабел



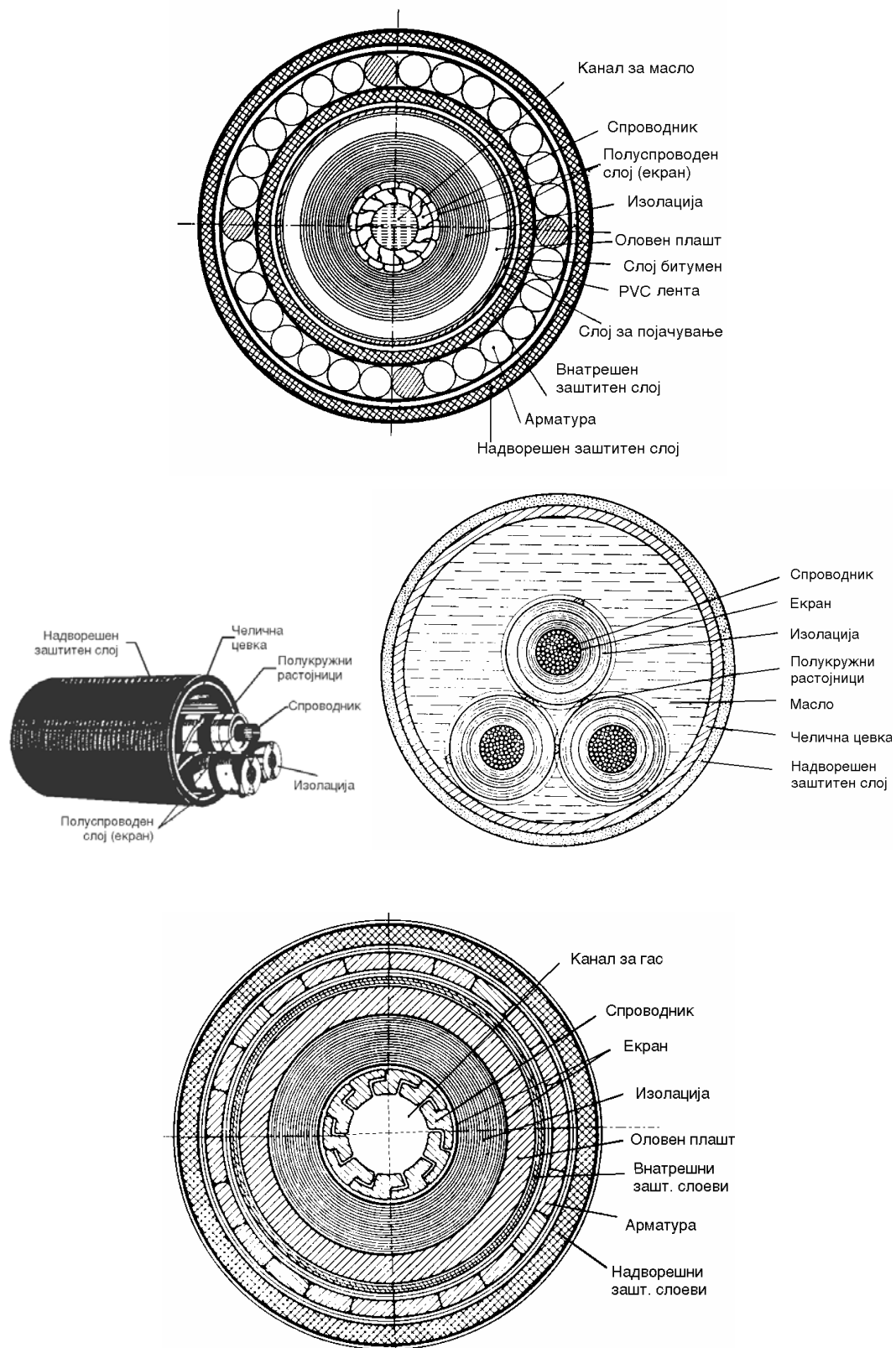
Слика. Кабел со изолација од вмрежен полиетилен XLPE:

трижилен, за напон $U_n \leq 10 \text{ kV}$ (горе);
 20 kV едножилен кабел (XHP 48) со PVC плашт, (средина);
 20 kV едножилен кабел (XHE 49) со PEC плашт, (долу).

PVC главно се користи кај каблите со **низок** и **среден напон**, додека **полиетиленот (PE)**, особено **вмрежениот полиетилен (XLPE)** може да се користи и кај високонапонските водови (досега за водови со напон до 400 kV), но се предвидува дека ќе се користи и кај каблите со највисоки напони.

Иако изолацијата од PVC и PE сама по себе е непропусна за влагата, сепак и кај каблите со изолација од овој вид најчесто се применува **заштитен плашт** од олово или од PVC со добри механички особини.

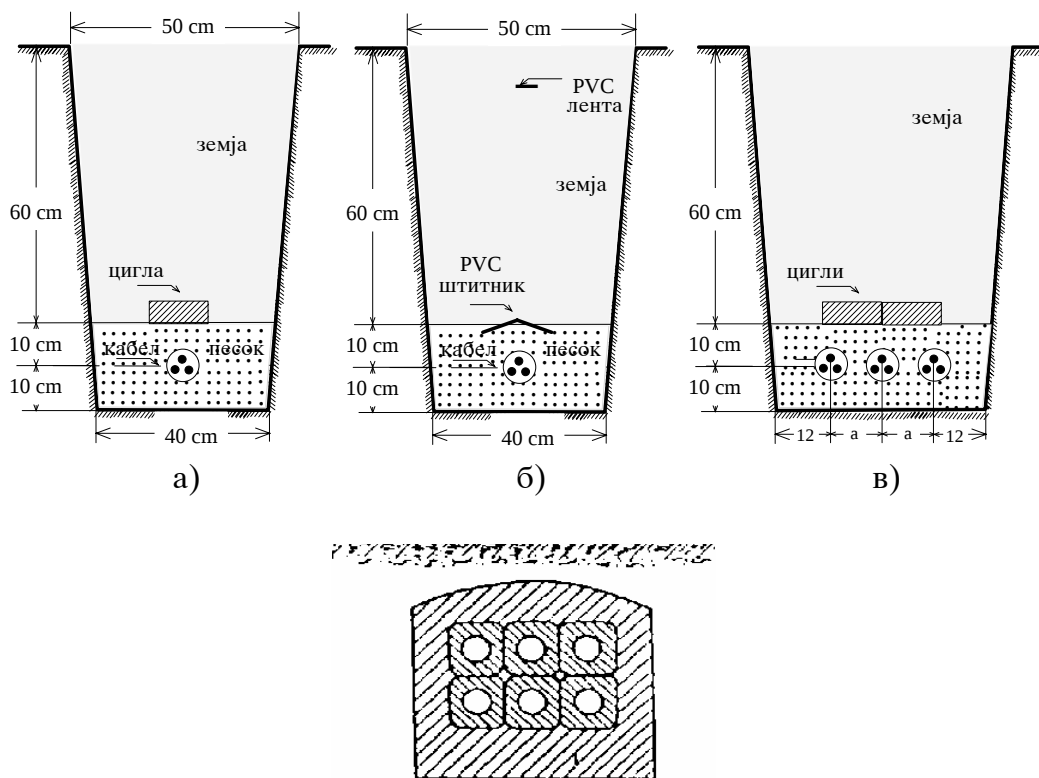
Засега кај највисоките напони како изолација се користи класична изолација IP, потопена во **масло под притисок** или **гас под притисок** (сл. 2.14) (кај каблите со највисоки напони, спроводниците се поставени и **херметички** затворени во **челични цевки**, низ кои **струи масло** или **гас** под притисок, со што се врши истовремено и електрично изолирање и **ладење** на спроводниците).



Слика 2.14. ВН кабли со масло и гас под притисок

Едножилен кабел со масло под (среден) притисок 0,3 МПа (горе)
 Кабелски вод (3 еднофазни кабли, поставени во чел. цевка) (средина)
 Едножилен кабел со гас под висок притисок (1,5 МПа) (долу)

Најпогодно и најевтино е поставувањето на каблите во земја. При поставувањето на кабелот во земјата најнапред се ископува **кабелски ров**, длабок околу 0,8 – 1 m (сл. 2.15 а). Во ровот кабелот се поставува на постела од ситен просеан **песок** или од **ровка земја**, дебела околу **10 cm**, а потоа се покрива со нов слој ситен и просеан песок (земја), дебел пак 10 cm. Над овој слој песок се поставува **пластичен штитник**, широк околу 14 cm или пак попречно поставена цигла, како заштита од механички оштетувања. Во последно време на извесна висина над **циглата (штитникот)** се поставува и PVC лента со позабележителна боја за предупредување, широка околу 15 cm, на која е напишана напомена дека под неа е поставен енергетски кабел. Со тоа оштетувањата на каблите при ископи и други земјени работи, што се вршат со механизација, се сведуваат на многу мала мерка.



Слика 2.15. Начини на полагање на каблите во земја

- а) Кабел положен директно во ров, заштитен со опека б) Кабел положен директно во ров, заштитен со PVC-штитник в) Поголем број кабли положени во земјен ров г) Кабли положени во бетонски блокови

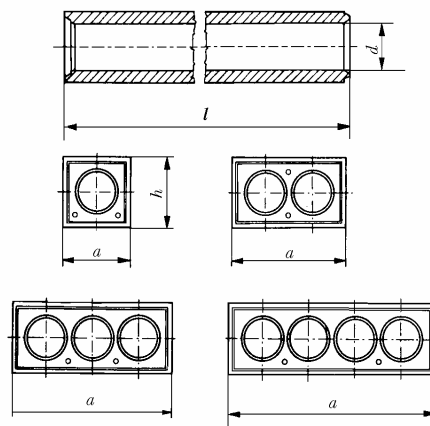
По потреба, во еден ист **кабелски ров** може да се постави и **поголем број кабли** (сл. 2.15 в). Во тој случај широчината на ровот ќе зависи од бројот на поставените

кабли, а растојанието „ a “ помеѓу секои два соседни кабли зависи од номиналниот напон на каблите и изнесува: 7 cm за нисконапонските кабли (до 1 kV), 10 cm за кабли со номинален напон од 10 kV и 20 cm за кабли со напон од 20 и 35 kV.

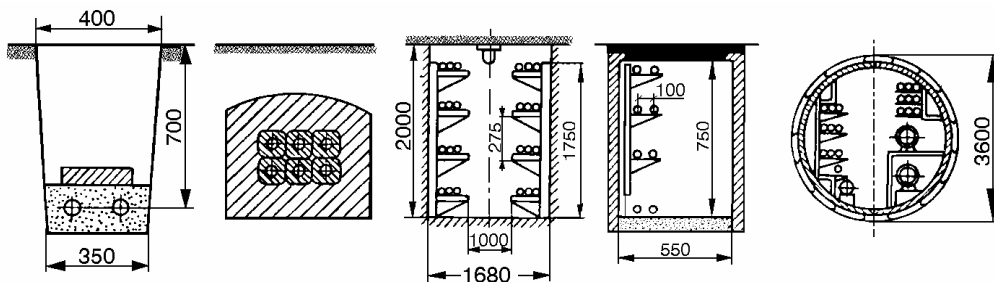
Кога енергетските кабли се полагаат под **железничка пруга** или под **јавни патишта**, за да се заштитат од механички оштетувања, тие обично се ставаат во метални цевки или пак во **бетонски блокови** (сл. 2.15 г) кои се нарекуваат и **блоковници**.

Со полагањето на кабелот во бетонски блок битно се вложуваат условите за ладење, поради што е потребно да се врши редукација на струјното оптоварување на кабелот.

Затоа ваквиот начин на полагање се применува само во неопходни случаи, како што се премините под пруга, односно фреквентен пат, како и во услови на густ сообраќај во **градските населби**, фабричките хали и **фабричките дворови**.

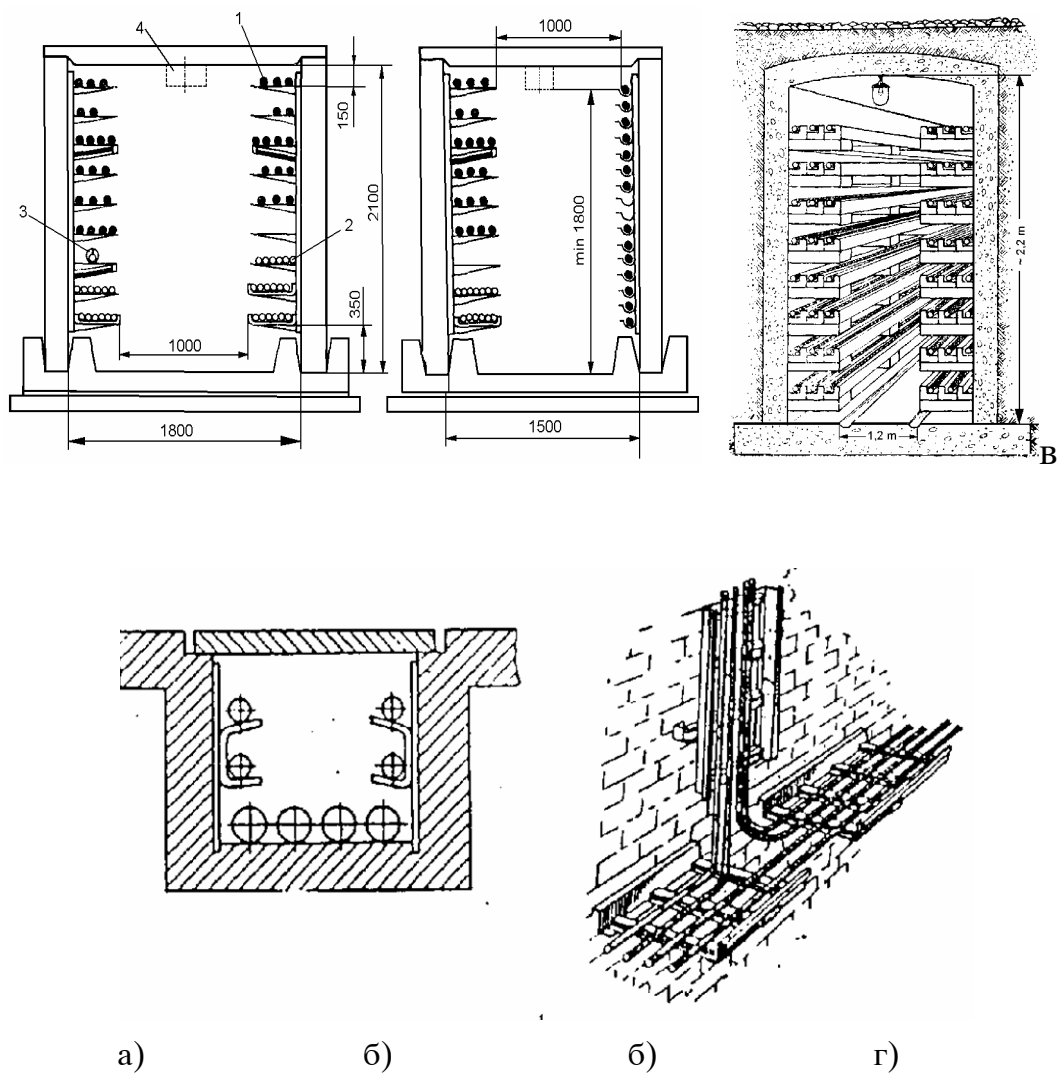


Слика. Бетонски блоковници во кои се полагаат енергетските кабли



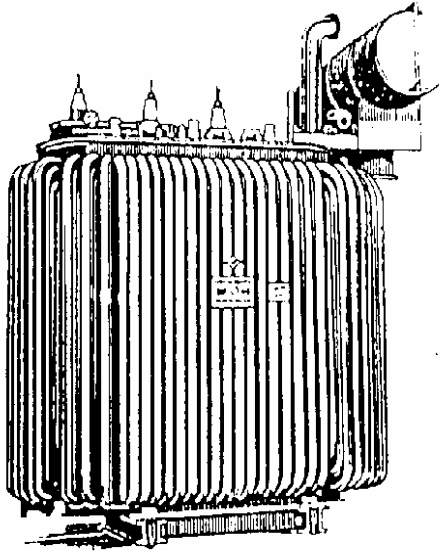
Слика. Разни начини на полагање (водење) на енергетските кабли

Кога е потребно **поголем број кабли** да се водат **паралелно**, при што просторот е презаситен со подземни инсталации (што е на пример честа појава во **електричните центри**, **големите градови**, **големите индустриски комплекси** и слично), се применуваат и други начини на полагање на електроенергетските кабли. За таа цел се користат **кабелски канали** и **кабелски шунели**, но се користат и други начини на водење на каблите (сл. 2.16).



Слика 2.16. Други начини на водење на енергетските кабли
 а) Кабелски тунели (горе); в) Кабелски канал (долу лево) и
 г) Полагање на регали

2.5. ТРАНСФОРМАТОРИ И АВТОТРАНСФОРМАТОРИ



Слика 2.17. Изглед на трифазен дистрибутивен трансформатор СН/НН за снижување на напонот



Слика 2.18. Енергетски трансформатори 50 kVA и 8.000 kVA

Пренесувањето на електрична енергија на поголеми растојанија е единствено можно при повисоки напони. Меѓутоа, нејзиното користење од страна на поедини електрични приемници е можно само при среден и низок напон. За покачување на напонот кај електричните централи, а подоцна за неговото снижување во близина на потрошувачите, се користат енергетските трансформатори за покачување и за снижување на напонот (т.е. за намалување и за зголемување на струјата). Освен оваа улога, енергетските трансформатори служат и за меѓусебно поврзување на две мрежи со различни номинални напони. Во таков случај тие се нарекуваат и *интерконективни (мрежни) трансформатори*.

Енергетските трансформатори кај нас најчесто се произведуваат како трифазни, макар што група од три еднофазни трансформатори исто така може да се користи како трифазен трансформатор.

Трифазните трансформатори можат да бидат *двонамотни* и *тринамотни*. За разлика од двонамотните, кои имаат две намотки (примар и секундар), тринамотните трансформатори имаат и трета (терциерна) намотка. Тие обично се употребуваат за снижување на напонот во трансформаторските станици (ТС), каде што е неопходно да се имаат два средни напони (на пример 35 kV и 10 kV во дистрибутивните мрежи, односно 10 kV и 6 kV во индустриските мрежи). Притоа терциерот служи за напојување на локалните потрошувачи кои се наоѓаат во непосредна близина на трафостаницата, додека пак секундарот може да напојува мрежа со поголем радиус (30 – 40 km во случајот кога секундарот е со номинален напон 35 kV). Вообичаено е намотките од примарот и секундарот да бидат врзани во звезда, додека терциерот е врзан во триаголник.

Во мрежите со номинален напон над 110 kV во денешно време широка примена наоѓаат *автотрансформаторите*. Тие имаат низа технички и економски предности во споредба со трансформаторите: значително помали димензии и цена, полесен транспорт и монтажа, помали загуби на моќност и енергија во железото и во бакарот, и друго. Меѓутоа, тие можат да се користат само во мрежи со директно заземјена неутрална точка (во нашата земја единствено ВН мрежи со номинален напон 110 kV и повеќе работат со директно заземјена неутрална точка, додека мрежите со среден напон

работат со изолирана неутрална точка или пак со заземјена неутрална точка преку мал активен отпор).

Трансформаторите и автотрансформаторите можат да бидат приклучени во различни точки од мрежата. Режимот на напонот во тие точки зависи од месните услови: од растојанието, т.е. оддалеченоста од изворите на напојување, од промената на товарот во текот на денот и друго. Споменатите услови се менуваат во процесот на експлоатацијата и не се однапред познати. Затоа трансформаторите и автотрансформаторите се изработуваат со специјални изводи (отцепи), со помош на кои е можно да се менува бројот на навивките на една од намотките, а со тоа и да се менува и преносниот однос на трансформаторот.

Кај некои трансформатори промената на преносниот однос може да се врши само во услови кога трансформаторот е исклучен од мрежата (регулација во безнапонска состојба – РБС). Кај други промената може да се врши и кога трансформаторот пренесува (трансформира) електрична енергија, без прекинување на погонот (регулација под товар – РПТ), што всушност претставува права регулација. Тоа е овозможено со помош на специјална преклопка, чија цена е прилично висока и малку зависи од моќноста на трансформаторот. Затоа вакви регулациони преклопки се вградуваат само кај поголемите трансформатори и автотрансформатори, кај кои преклопката влегува во вкупната цена со мал процент, а погонот го прави значително поеластичен.

Трансформаторите СН/СН (35 kV/10 kV т.е. 35 kV/ 6 kV), како и трансформаторите СН/НН (10 kV/0,4 kV и 20 kV/0,4 kV и 35 kV/0,4 kV) се изработуваат со релативно мали номинални моќности (од 100 kVA до 4000 kVA) и имаат можност за регулација во безнапонска состојба. Тие имаат вкупно 5 отцепи, еден основен и 4 регулациони: 0 % $\pm 2,5$ % и ± 5 % (значи опсегот на регулација е од -5 % до $+5$ %, со чекор, т.е. степен на регулацијата од 2,5 %). Бидејќи за промена на преносниот однос (т.е. за промена на бројот на навивките на намотката снабдена со регулациони отцепи) е потребно трансформаторот да се исклучи од мрежа, оваа операција ретко се изведува – практично сезонски, неколку пати во годината.

Трансформаторите ВН/ВН и ВН/СН се со значително поголеми номинални моќности и по правило се изведуваат со

можност за регулација под товар. Во тој случај тие се нарекуваат и *регулациони трансформатори*. Кај нив опсегот на регулација е значително поголем (од -10% до $+10\%$, па дури и од -15% до $+15\%$), додека пак чекорот на регулација е помал (од 1% до $1,78\%$). Така, на пример, автотрансформаторите $220/115 \text{ kV/kV}$, инсталирани во нашата ВН мрежа, на 220 kV страна имаат вкупно 23 изводи и чекор на регулација $1,25\%$ од номиналниот преносен однос. Ова обично се пишува на следниот начин: $(220 \pm 11 \times 1,25\%) / 115 \text{ kV/kV}$.

Автотрансформаторите $(400 \pm 2 \times 2,5\%) / 115 \text{ kV/kV}$, 300 MVA , инсталирани во мрежата на Република Македонија, немаат можност за регулација под товар. Тоа е случај и со повеќето такви автотрансформатори во бившите YU-републики. По правило, регулацијата на преносниот однос се врши на страната на повисокиот напон.

2.6. КОМПЕНЗАЦИОНИ УРЕДИ

Во електроенергетските мрежи се користат и т.н. компензациони уреди. Нив ги делиме условно во две групи.

Во првата група спаѓаат уредите за компензација на реактивната моќност што ја бараат потрошувачите и елементите од мрежата. Тука ги вбројуваме:

- *синхроните компензатори (СК),*
- *синхроните мотори (СМ) и*
- *попречно вклучените кондензаторски батерии (КБ).*

Во втората група спаѓаат уредите за компензација на реактивните параметри на водовите:

- *сериски (редно) вклучените кондензаторски батерии;*
- *попречно вклучените реактори (придушници).*

Синхрон компензатор е всушност синхрон мотор со полесна конструкција, предвиден за работа во празен од. Кога компензаторот работи во режим на надвозбуда³, тогаш тој всушност претставува генератор на реактивна моќност и предава реактивна моќност на мрежата. Најголемата моќност што синхронот компензатор може да ја даде кога тој работи во режим на генератор се нарекува негова номинална моќност. Неа ја означуваме со Q_n .

Кога компензаторот работи во режим на подвозбуда, тогаш тој претставува потрошувач на реактивната моќност, бидејќи тогаш тој прима моќност од мрежата. Максималната реактивна моќност што компензаторот може да ја зема во режимот на подвозбуда изнесува само 50 – 60 % од неговата номинална моќност. Реактивната моќност што синхронот компензатор ја дава (зема) од мрежата зависи од возбудната

³ Во режимот на „*надвозбуда*“ внатрешната електромоторна сила на синхронот компензатор е по модул поголема од модулот на напонот на мрежата. Тогаш струјата тече од синхронот компензатор кон мрежата и има речиси чисто индуктивен карактер, а синхронот компензатор дава во мрежата реактивна моќност $Q_{ск}$. Во режимот на „*подвозбуда*“ имаме обратна ситуација со напоните и обратен ефект во поглед на насоката на струјата и моќноста што ја произведува синхронот компензатор.

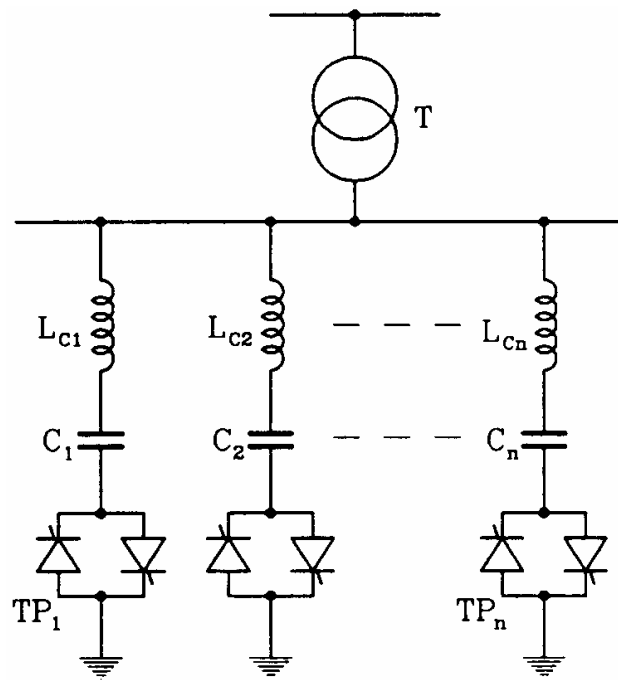
струја. Со промена на возбудната струја се менува, значи, и неговата реактивна моќност. Оваа промена може да се врши рачно или пак автоматски.

Синхроните компензатори (СК) се релативно скапи елементи. Нивната цена по единица инсталирана моќност е прилично голема, но со зголемувањето на инсталираната моќност таа опаѓа. Затоа од економски аспект е оправдано да се градат само големи синхрони компензатори, со моќност над 20 MVA. За помали потреби од реактивна моќност се користат статичките кондензатори кои имаат помала специфична цена. Бидејќи моќноста на компензаторите е прилично голема, тие најчесто се инсталираат во поважните и поголемите трафостаници, со горен напон 220 kV и повеќе, кои припаѓаат на преносна мрежа, бидејќи таму и постои можност за пласирање на големи реактивни моќности. Синхроните компензатори се произведуваат за номинален напон 6,3 и 10,5 kV. Затоа тие обично се приклучуваат на терциерната намотка на тринамотните трансформатори, односно автотрансформатори.

При својата работа СК земаат и определена активна моќност од мрежата, неопходна за совладување на отпорните моменти при вртењето (моментите предизвикани од триењето во лежиштата и вентилација), како и поради цуловите (*Joule*) загуби на моќност во статорските и роторската намотка. Кога компензаторот работи со својата номинална моќност, тој зема од мрежата активна моќност во износ од 2 до 3 % од својата номинална моќност Q_n .

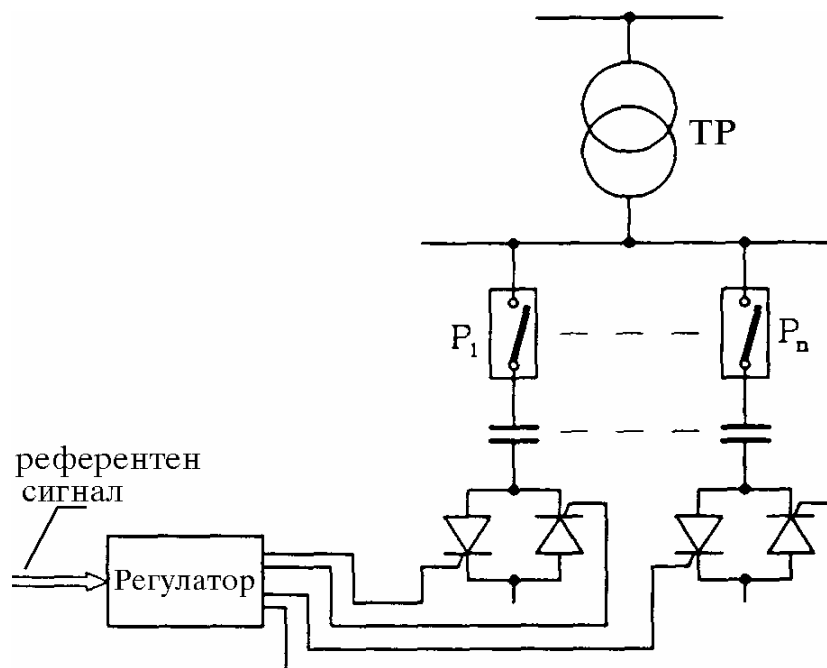
Во последно време за производство на реактивна моќност се применуваат т.н. **тиристорски прекинувани кондензатори** (слика 2.19). Тие се состојат од поголем број паралелно приклучени кондензаторски групи кои можат лесно, по потреба, да се вклучуваат и исклучуваат со тиристорски прекинувачи $TP_1, TP_2, \dots, TP_n$ и на тој начин да се менува еквивалентниот капацитет напречно приклучен во постројката. Секоја група содржи неколку елементи:

- **кондензатор** за производство на реактивна моќност ($C_1, C_2, \dots, C_n$);
- **мал индуктивитет** ($L_{C1}, L_{C2} \dots L_{Cn}$) кој служи за ограничување на струјата на впуштање и
- **тиристорски мост** ($TP_1, TP_2, \dots, TP_n$).



Слика 2.19. Шема на тиристорски прекинувани кондензатори

Синхроните компензатори се вртливи машини, кои се скапи и бараат особено одржување. Затоа се повеќе тие како скапи елементи се заменуваат со т.н. **статички компензатори**. На сликата 2.20 е прикажан статички компензатор составен од поголем број тиристорски прекинувани кондензатори.



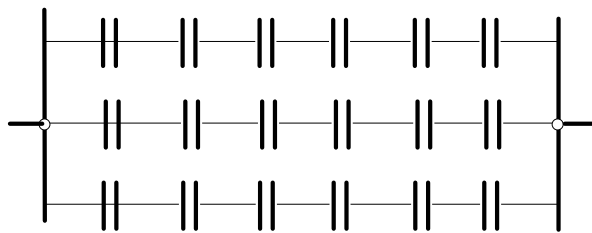
Слика 2.19. Шема на статички компензатор составен од поголем број тиристорски прекинувани кондензатори

Статичкиот компензатор од сликата 2.20 ги има следните основни својства:

- можност за степенеста регулација на реактивната моќност;
- мали загуби на активна моќност;
- не генерира виши хармоници.

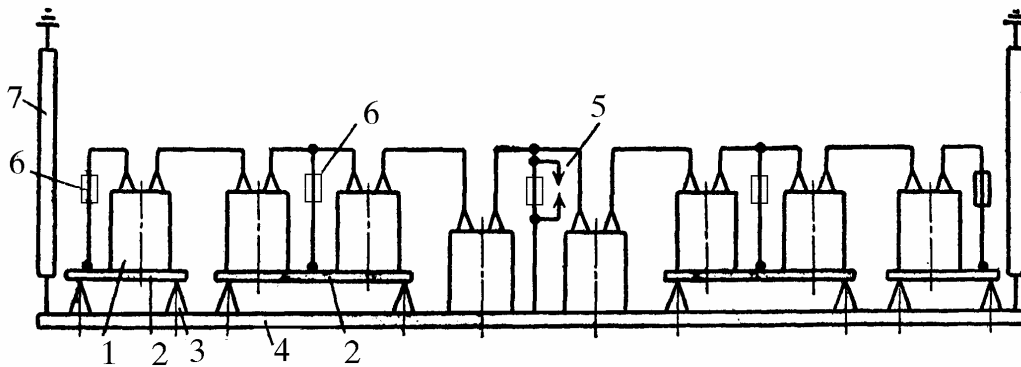
Кондензаторите што се користат за компензација на реактивната моќност на потрошувачите се изработуваат од тенка алуминиумска фолија. Фолијата е изолирана со специјална кондензаторска хартија, импрегнирана со минерално масло или со синтетички диелектрик (совол, полипропилен, пирален, аскарел и др.). Фолијата се намотува во т.н. „свитоци“, а тие, зависно од потребите, меѓусебно се поврзуваат паралелно (за зголемување на номиналната моќност) или редно (за зголемување на номиналниот напон). По сушењето во вакуум свитоците се поставуваат во метално куќиште, се потопуваат во масло и херметички се затвораат. На тој начин се добива една **кондензаторска единица**. Кондензаторските единици се произведуваат како еднофазни или како трифазни, со номинални моќности од 1 до 150 kVA.

Со редно или паралелно поврзување на повеќе кондензаторски единици се зголемува вкупната инсталирана реактивна моќност и на тој начин се формираат т.н. **кондензаторски батерии** (слика 2.20).



Слика 2.20. Формирање на кондензаторска батерија со редно и паралелно оврзување на поголем број кондензатори

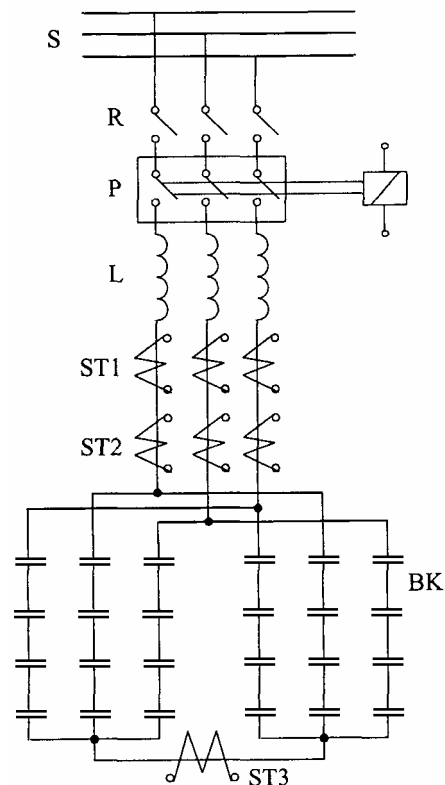
Кондензаторските батерии се врзуваат **редно (сериски)** и **паралелно (напречно)**. Редните батерии се применуваат тогаш кога се сака да се намали реактивната отпорност на долгите надземни водови, за т.н. „**редна компензација**“. На сликата 2.21 е прикажана една таква редна кондензаторска батерија.



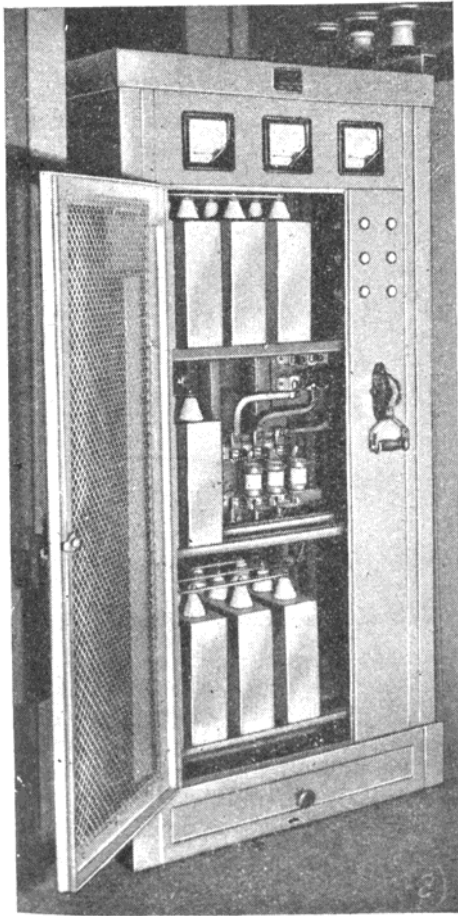
Слика 2.21. Шематски приказ на редна кондензаторска батерија

- 1) конд. единица 50 kvar
- 2) Платформа
- 3) Потпорен изолатор
- 4) Главна изолациона платформа
- 5) Искриште
- 6) Осигурувач
- 7) Изолаторски синџир кој ја носи изолационата платформа

На сликата 2.22 е прикажана една КБ за **паралелна компензација**, составена од две полубатерии, врзани во звезда, со звездишта поврзани преку еден струен трансформатор СТЗ. Со ваквата врска се постигнува заштита на КБ од несиметрија до која може да дојде при пробив на некоја од кондензаторските единици, бидејќи во тој случај низ струјниот трансформатор СТЗ ќе протиече струјата на несиметрија што треба да биде индикација за дефектот.



Слика 2.22. Принципиелна шема на КБ за паралелна компензација со заштита од неуравнотежени струи по одделните фази



Слика 2.21. Надворешен изглед на една НН регулирана кондензаторска батерија (380 V)

Поради несовршеноста на диелектрикот, во кондензаторската батерија (КБ) при работа се остваруваат и определени загуби на активна моќност (диелектрични загуби). Кај современите кондензаторски единици овие загуби се релативно мали и при нормални услови на работа (нормална температура и напон близок до номиналниот) тие обично се движат во границите од 0,15% (кај СН единици) до 0,30% (кај НН единици). Ова значи дека на секој произведен Mvarh, кондензаторските батерии земаат од мрежата активна енергија од 1,5 kWh до 3 kWh.

Во постројките за попречно вклучување на КБ (кондензаторите се вклучени паралелно на мрежата) батериите имаат улога на генератор (извор) на реактивна моќност. Притоа, зависно од важноста на постројката и зависно од карактерот на промената на моќноста на

компензираните потрошувачи, кондензаторската батерија може да биде со или без регулација.

Кај нерегулираните КБ, бројот на кондензаторските единици не може да се менува. Ако вкупниот (еквивалентниот) капацитет на ваквата батерија изнесува C_k , тогаш реактивната моќност Q_k што ќе се произведува од батеријата ќе биде пропорционална на квадратот на погонскиот напон U , т.е:

$$Q_k = \omega \cdot C_k \cdot U^2 \quad (2.2)$$

Бидејќи погонскиот напон има секогаш вредност блиска до неговата номинална вредност U_n и малку се менува, а кружната фреквенција ω е константна, тоа значи дека и генерираната реактивна моќност Q_k од една нерегулирана кондензаторска батерија ќе биде практично константна.

Кај регулираните кондензаторски батерии бројот на вклучените кондензаторски единици може да се менува во зависност од режимот на работа на електричната мрежа. Вклучувањето и исклучувањето може да се врши во зависност од реактивната моќност на товарот, во зависност од напонот во точката каде што е приклучена батеријата или, пак, во зависност од времето. Тоа најчесто се врши автоматски, но понекогаш се врши рачно.

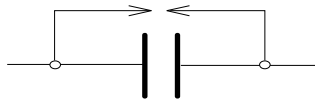
На пазарот денес се нудат комплетни кондензаторски батерии за низок напон, со моќности до 600 kVA, со произволен број степени (до 12) и со автоматски регулатор на моќноста на батеријата. Регулацијата со толку голем број степени може да се третира практично како континуирана.

Кога се работи за среднонапонски кондензаторски батерии (10 kV, 20 kV и 35 kV), поради скапата комутациона апаратура (прекинувачи, раставувачи, придушници и друго), бројот на степените е значително помал, а регулацијата е дискретна и груба. Меѓутоа, единечната цена на инсталираниот киловар кај СН кондензаторски батерии е и до 40% помала во однос на единечната цена кај НН батерии, па затоа, многу често, компензацијата на реактивната моќност се врши и на среден напон.

Во поново време, со примената на тиристорските уреди и управуваните реактори, е овозможена континуирана регулација на моќноста што ја произведуваат кондензаторските батерии.

Во постројките за редно (сериско) вклучување кондензаторските батерии се користат за компензирање (намалување) на реактанцијата на водовите, бидејќи таа се вклучува на ред со преносниот вод. Реактивната моќност што ја произведуваат овие батерии не е голема. Во нормален режим на работа, низ батеријата тече соодветна струја (струја на товарот), а напонот на краевите на батеријата изнесува од 5% до 20% од номиналниот напон на мрежата. Меѓутоа, при појава на куси врски во мрежата низ батеријата можат да протечат прилично големи струи, со што напонот на краевите на кондензаторската батерија бргу ќе порасне на вредност која може да биде и 4–5 пати поголема од номиналниот напон на самата батерија. Иако кондензаторите можат кратковремено да поднесат и вакви вредности на напонот, сепак оваа појава е непожелна бидејќи, ако е

зачестена, бргу ќе го скрати животниот век на батеријата. Затоа паралелно со редните батерии се поставуваат искришта (елемент бр. 5 во сл. 2.18), кои при појава на опасни напони (пренапони) вршат моментално премостување на штитените кондензатори (сл. 2.22).

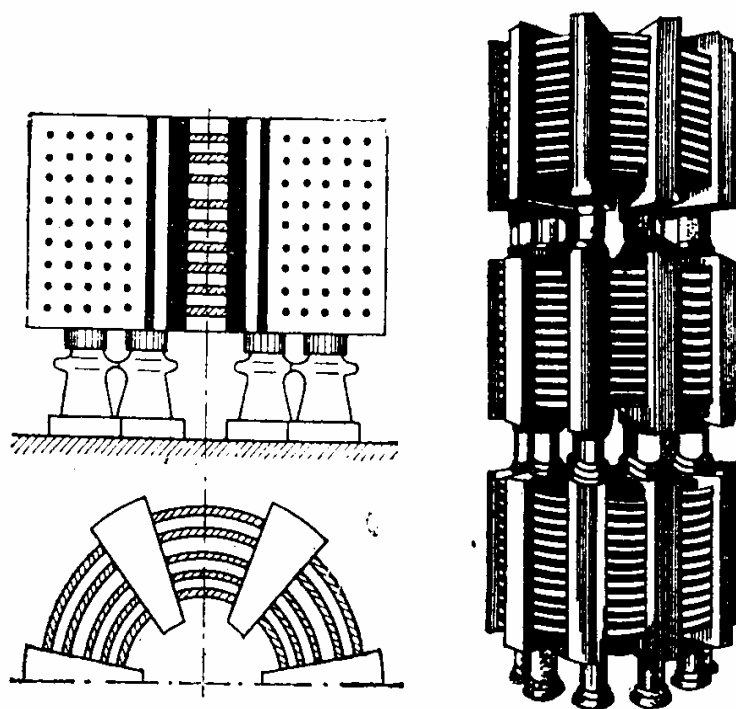


Слика 2.22. Редна кондензаторска батерија заштитена од пренапони со искриште

Поедините фази кај редните кондензаторски батерии во нормални услови на работа се наоѓаат на потенцијал што го имаат фазните спроводници. Затоа редната кондензаторска батерија треба да биде изолирана во однос на земјата, и тоа на полн номинален напон на водот.

Сериски вклучената кондензаторска батерија, заедно со индуктивноста на мрежата, односно потрошувачите, гради осцилаторно LC-коло, во кое, под определени околности, може да дојде до појава на несакани резонантни или други видови појави во мрежата и кај потрошувачите. Овие непожелни појави се особено зачестени кај редно компензираните водови кои напојуваат претежно индустриски потрошувачи. Затоа во праксата редната компензација на водовите ретко се применува, освен онаму каде што е навистина неопходна.

Реакторите (уридушници) исто така се користат во електроенергетските мрежи. Тие можат да бидат вклучени сериски (редно) или паралелно (попречно). Сериското вклучување на реакторите се користи тогаш кога сакаме да извршиме намалување на струите на куси врски во мрежата, и во тој случај зборуваме за *уридушница*. Попречното вклучување на реакторите се применува кај долгите преносни водови (долги над 100 km), со многу висок напон (сл. 2.26), со цел реакторот да ја компензира капацитивноста на водот.



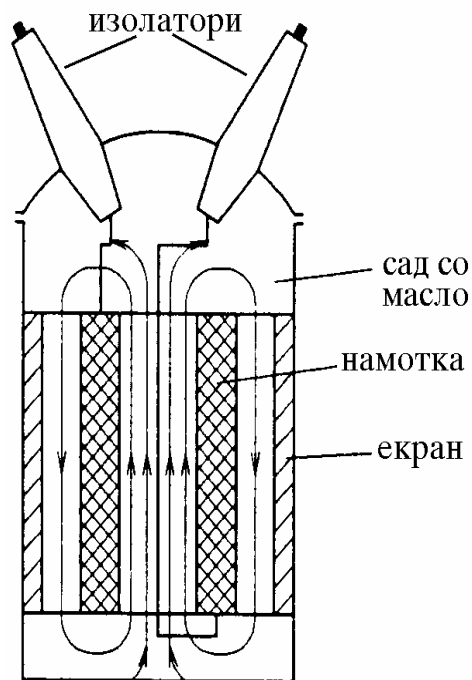
**Слика 2.23. СН трифазна придушница (бетонска)
за намалување на струите на куси врски, предвидена
за внатрешна монтажа**

Придушниците се изработуваат во вид на намотки со мал активен отпор. Навивките од намотките се изолирани од заземјените делови (масата) на придушницата и се прицврстуваат за телото од придушницата (бетон или дрво) преку потпорни изолатори (сл. 2.23). Постојат и така-наречени маслени реактори. Кај нив намотките се потопени во изолационо масло и херметички се затворени во железен казан. Маслените реактори (придушници), за разлика од претходните, се наменети за надворешна монтажа.

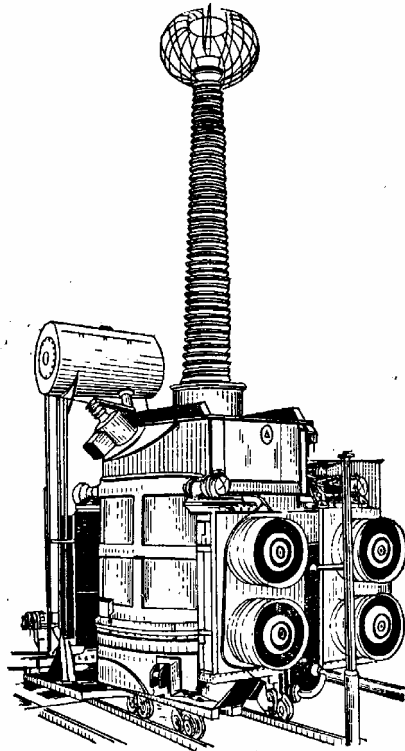
Реакторите за попречна компензација се изработуваат со железно јадро и менлив воздушен зјај. Со промената на воздушниот зјај може да се менува „магнетскиот отпор“ на железното јадро, а со тоа, по желба, може да се менува и индуктивноста на реакторот.



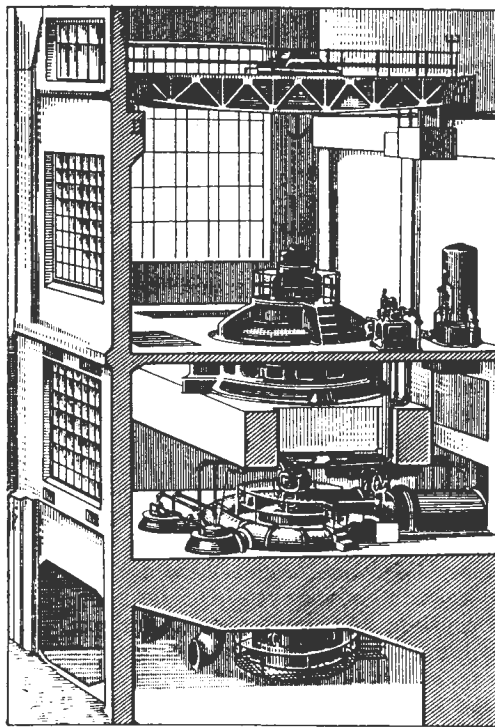
**Слика 2.24. Маслена придушница
за ВН (110 kV) за намалување
на струите на куси врски**



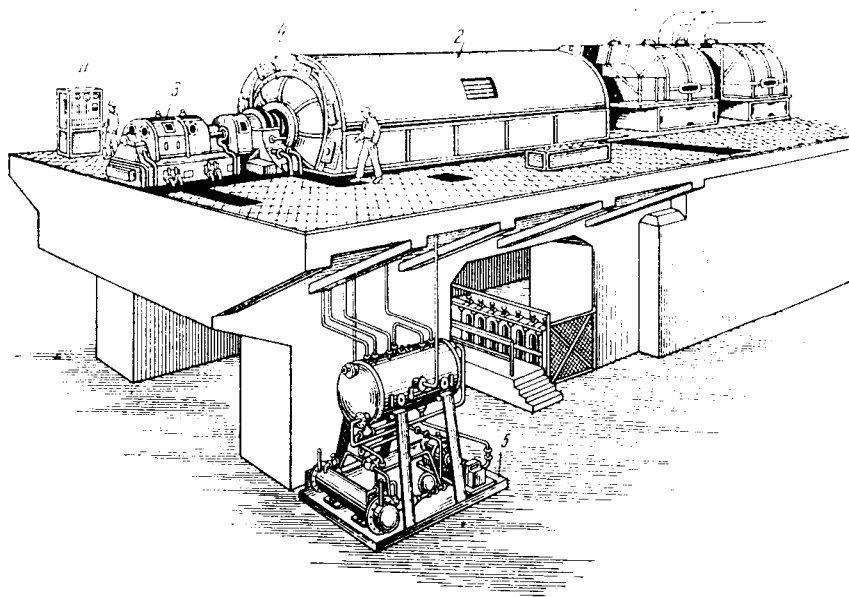
**Слика 2.25. Маслена придушница
за ВН (110 kV) – приказ
на напречниот пресек**



**Слика 2.26. Изглед на ВН реактор за компензација на капацитивноста
на еден 750 kV вод.**



Слика 2.27. Надворешен изглед на голем хидрогенератор



**Слика 2.28. Надворешен изглед на моќен турбогенератор,
ладен со водород**

- 1) Парна турбина; 2) Генератор; 3) Возбудител; 4) Контролен пулт;
- 5) Постројка за водородно ладење.