

# Електрични мрежи

## Елементи на електроенергетските мрежи и нивна конструктивна изведба

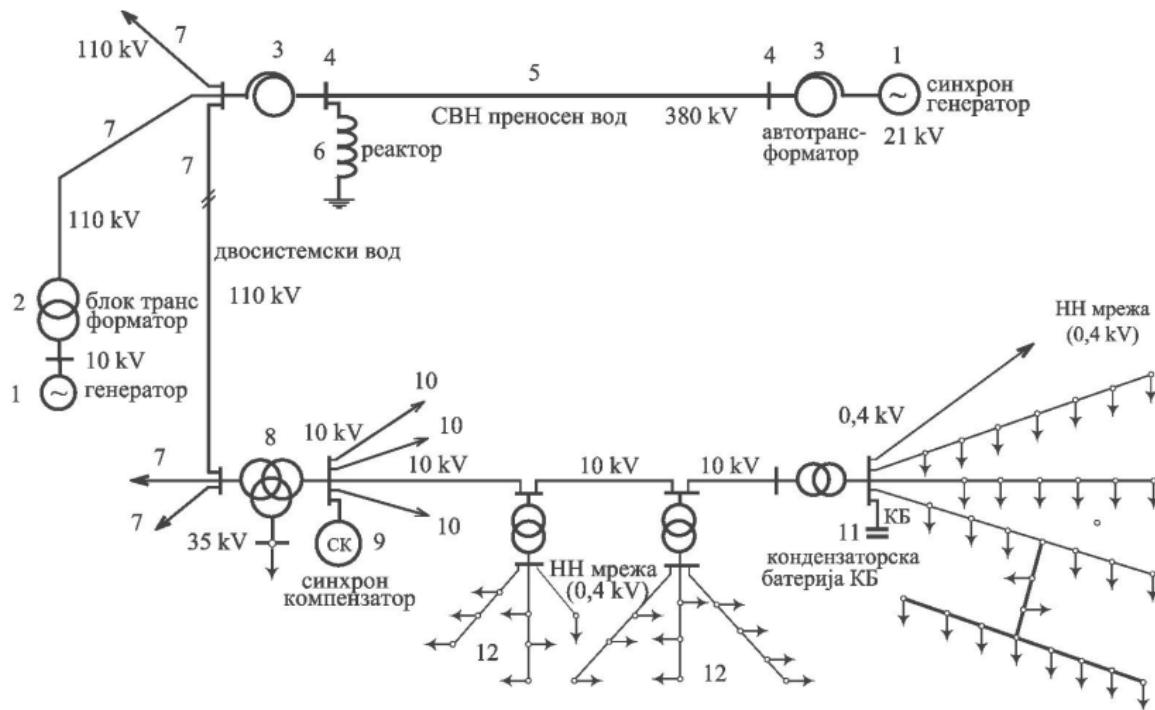
М. Тодоровски

Институт за преносни електроенергетски системи  
Факултет за електротехника и информациски технологии  
Универзитет Св. Кирил и Методиј

[mirko@feit.ukim.edu.mk](mailto:mirko@feit.ukim.edu.mk)  
[pees.feit.ukim.edu.mk](mailto:pees.feit.ukim.edu.mk)

Скопје, 2018

# Состав на електроенергетските системи

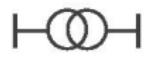


- 1) Синхрон генератор; 2) Блок-трансформатор; 3) Автотрансформатор; 4) 380 kV собирници; 5) 380 kV вод; 6) Придушница (реактор);  
7) 110 kV вод; 8) Тринамотен трансформатор; 9) Синхрон компензатор (СК); 10) 10 kV дистрибутивен вод; 11) Кондензаторска батерија (КБ);  
12) Нисконапонска (НН) дистрибутивна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

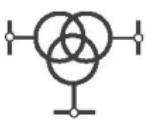
# Симболи за поважните елементи на ЕЕС



Автотрансформатор



Двонамотен трансформатор



Тринамотен трансформатор



Генератор



Синхрон компензатор



Редна придушница



Напречно поставен реактор



Потрошувач



Кондензаторска батерија

# Состав на електроенергетските мрежи

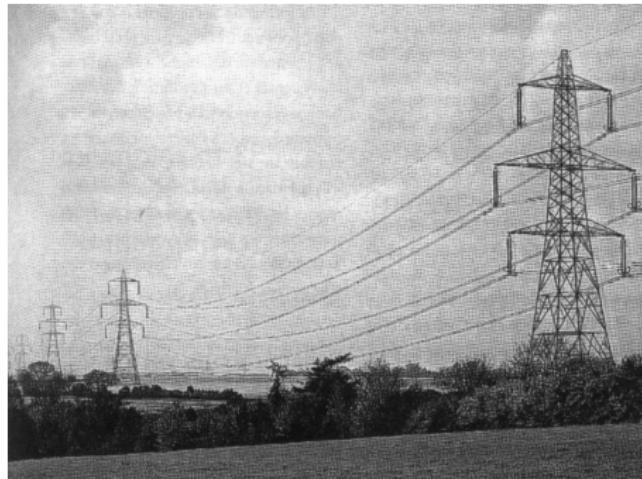
Во составот на електроенергетските мрежи спаѓаат следните елементи:

- надземни водови (далноводи),
- кабелски водови,
- двонамотни и тринамотни енергетски трансформатори,
- кондензаторски батерии,
- синхрони компензатори,
- автотрансформатори,
- кондензаторски батерии и
- придушници (реактори).

# Надземни водови

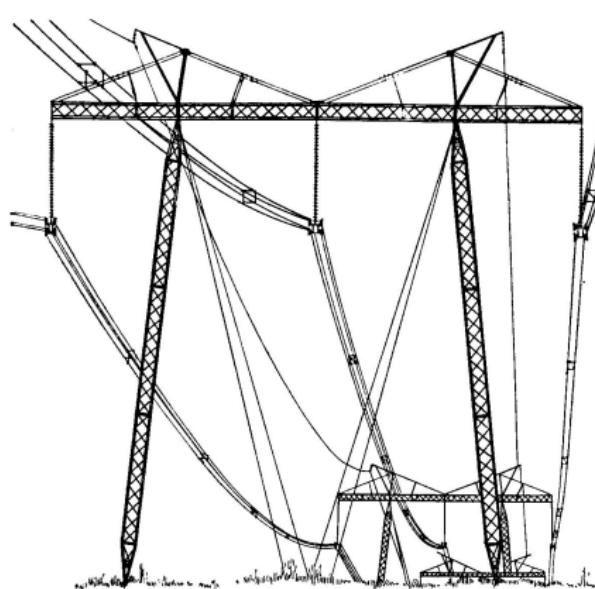
Надземните водови во основа се составени од

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

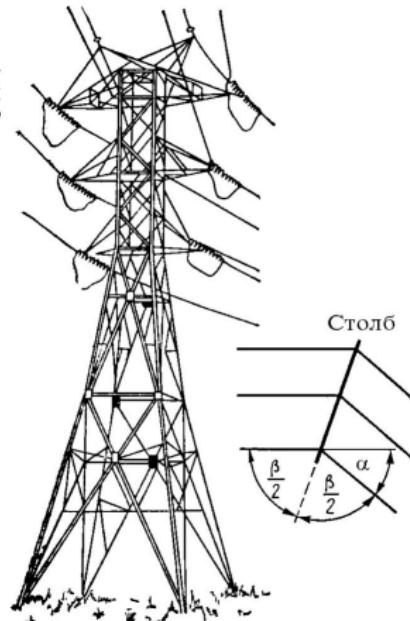


400 kV двосистемски надземен вод

# Надземни водови

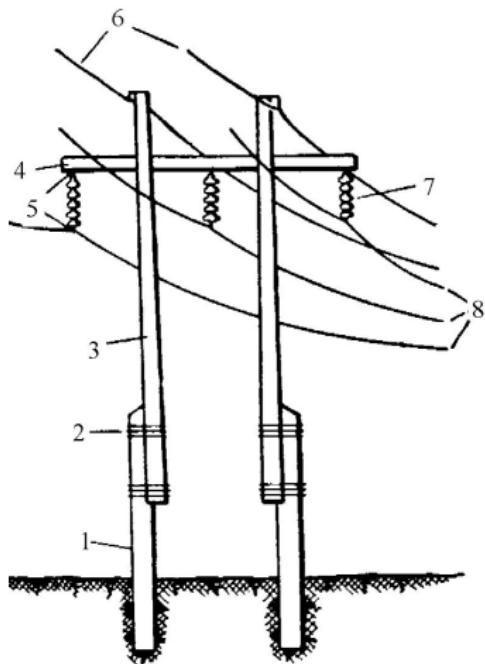


носечки портален столб за напон од  
750 kV



двосистемски аголно-затезен столб за  
напон од 110 kV

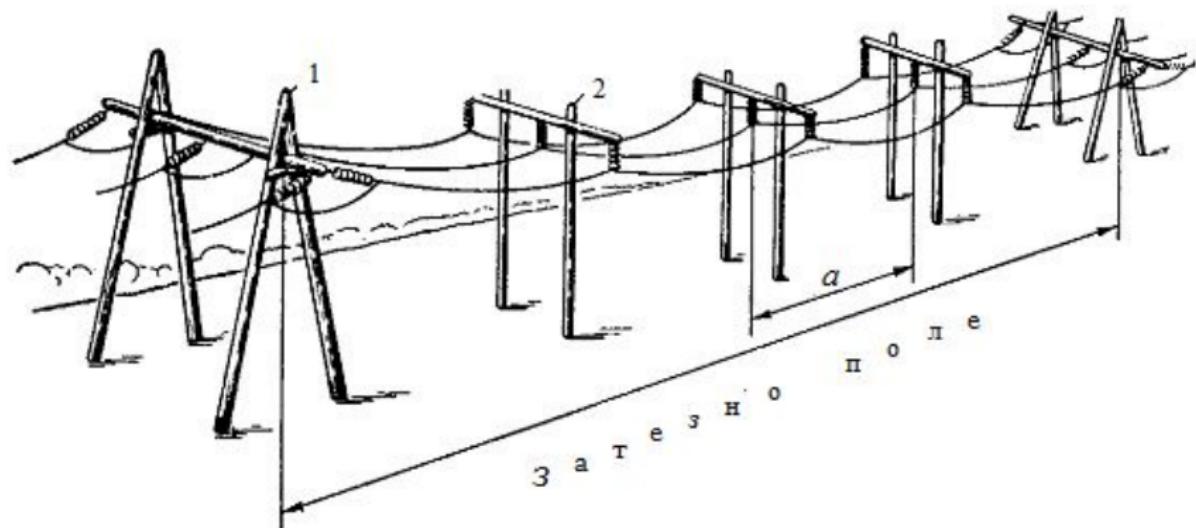
# Надземни водови



Дрвен електричен столб од еден 110 kV надземен вод

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

# Затезно поле - дел од надземен вод

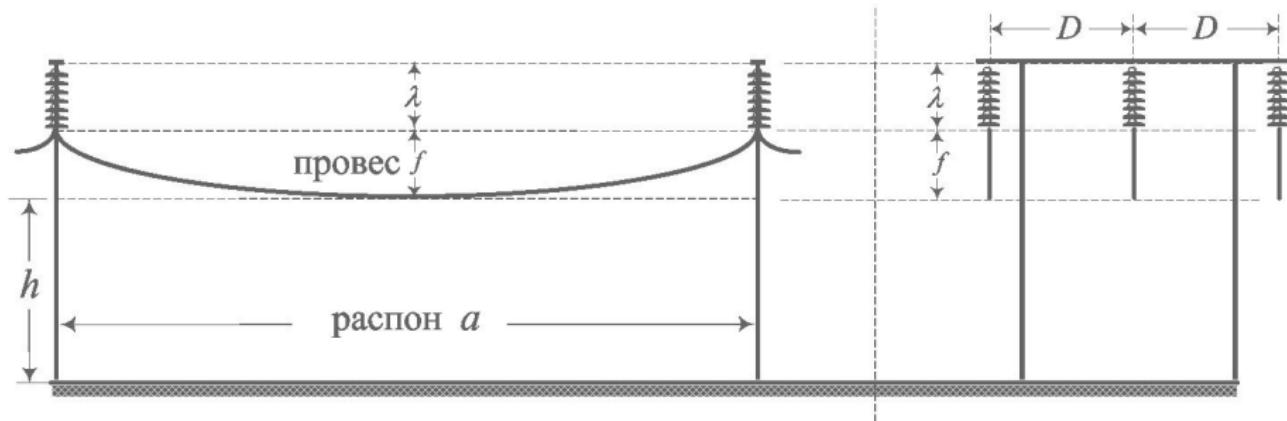


1) Затезен столб, 2) Носечки столб

# Монтажа на 400 kV аголно-затезен столб



# Дефиниција на поимите „распон“ и „провес“



# 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 табелата.

# Растојание помеѓу спроводниците (m) кај надземните водови

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

# Капест изолатор – основен елемент на изолаторските синџири



Напон (kV)      Број на елементи

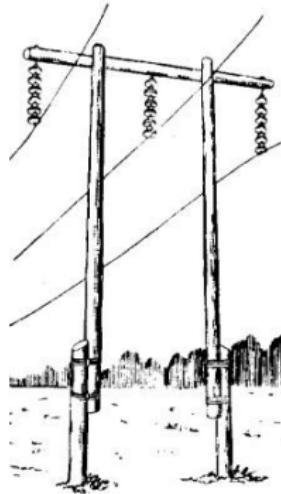
10 и 20	$1 \div 2$
35	$3 \div 4$
110	$6 \div 7$
220	$11 \div 13$
400	$17 \div 21$



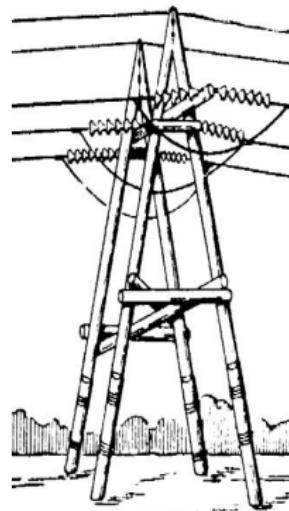
## Должината на распоните

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

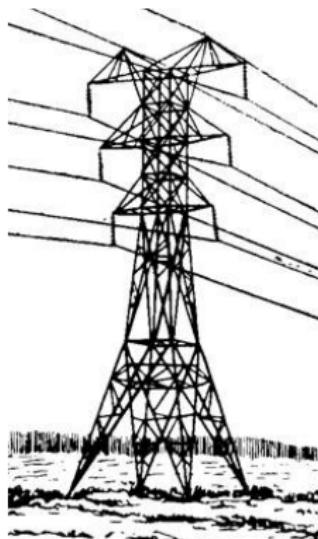
# Видови столбови



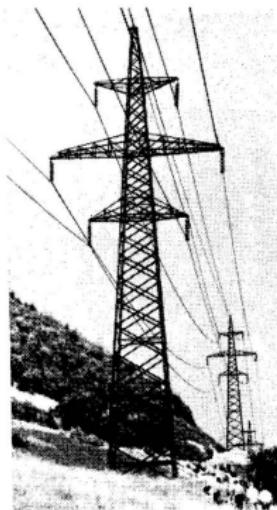
а)



б)



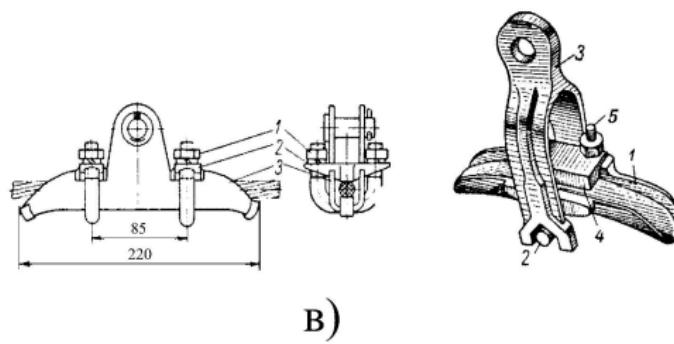
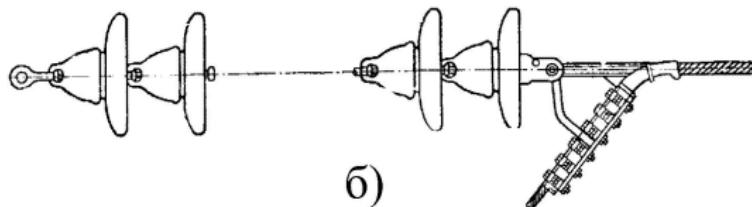
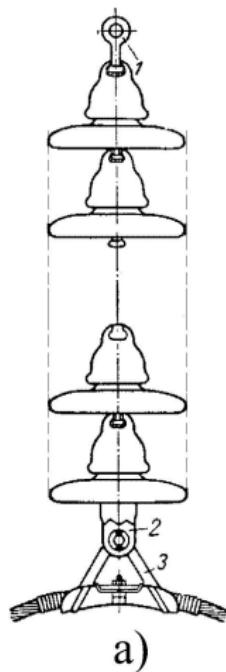
в)



г)

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

# Изолаторски синцири кај надземните водови

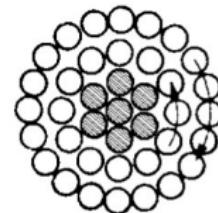
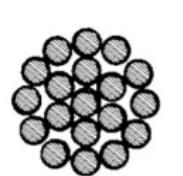


а) Носечки (висечки) синцир; б) Затезен изолаторски синцир; в) Носечка стегалка (арматура) за прицврстување на спроводникот

# Спроводници кај надземните водови



Спроводник во форма на јаже за надземен вод

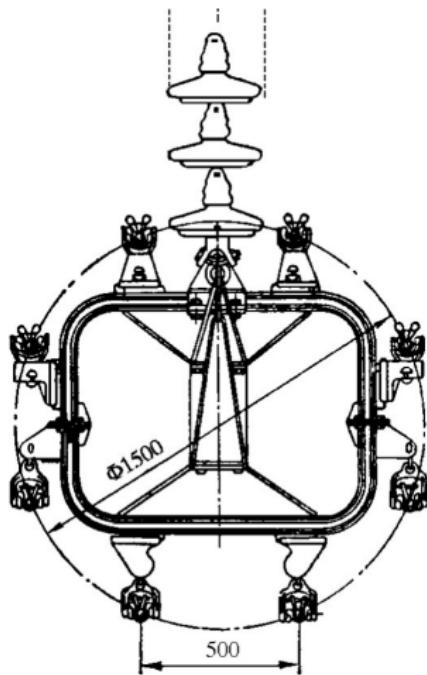


○ Al - обвивка  
● Fe - јадро  
↑ насока на вградување

а) Хомогено јаже      б) Комбинирано Al/Fe јаже

Алучел-јаже за надземен вод

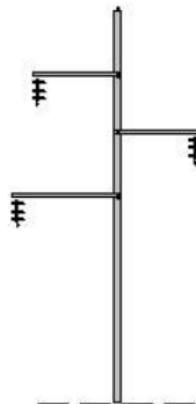
# Сноп од спроводници



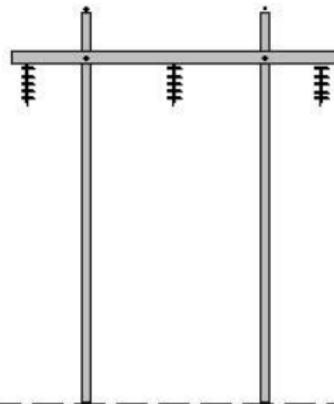
Сноп од спроводници кај еден 1150 kV надземен вод

# Меѓусебен распоред на фазните спроводници

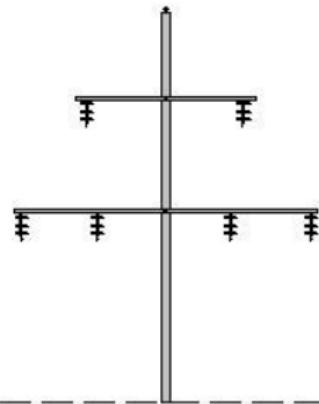
- распоред во триаголник (а),
- хоризонтален распоред (б),
- распоред на два триаголника (в),
- распоред во вид на бочва (г).



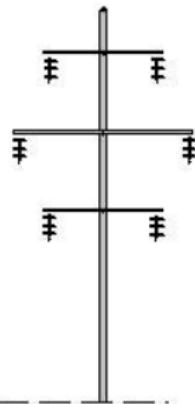
а)



б)

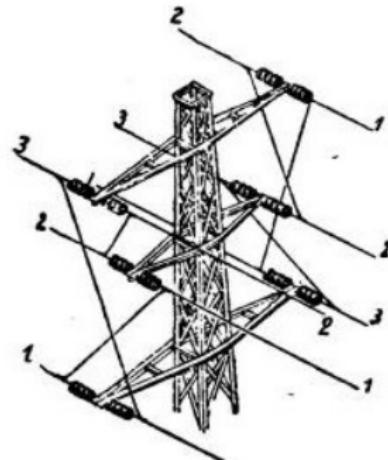
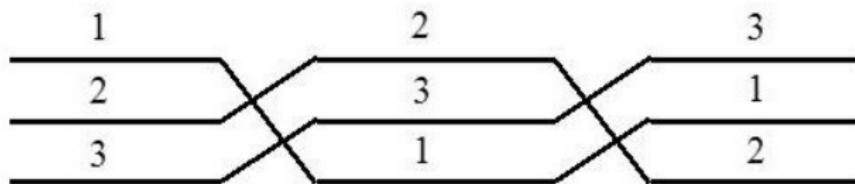


в)

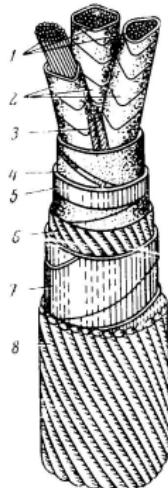


г)

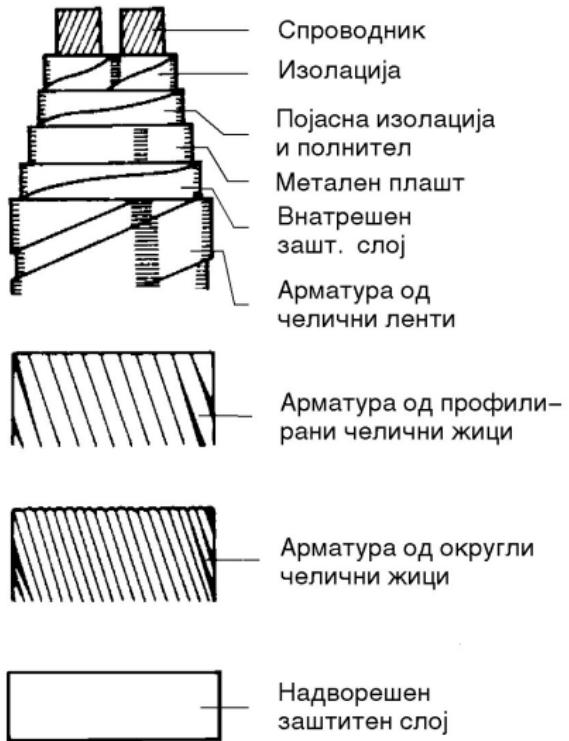
# Транспозиција на фазните спроводници



# Кабелски водови

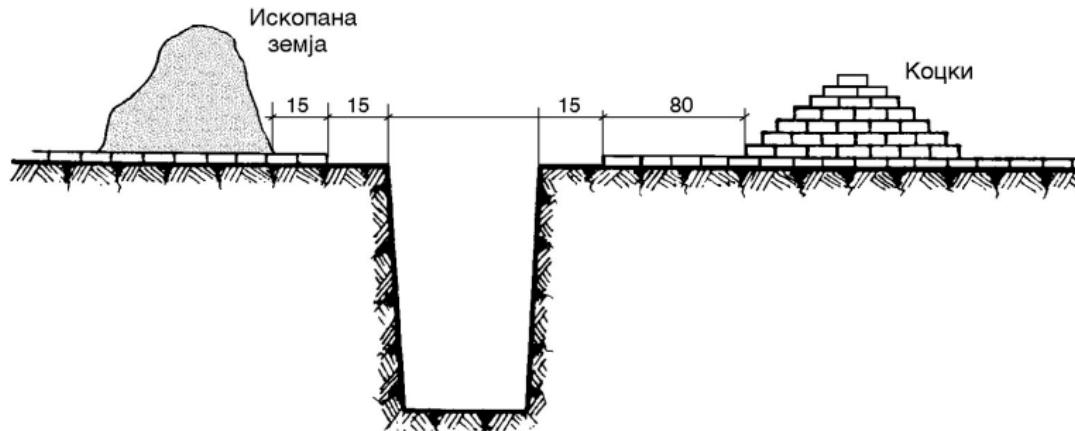


Изглед на трифазен 10 kV класичен појасен кабел со изолација од импрегнирани хартија (IP)



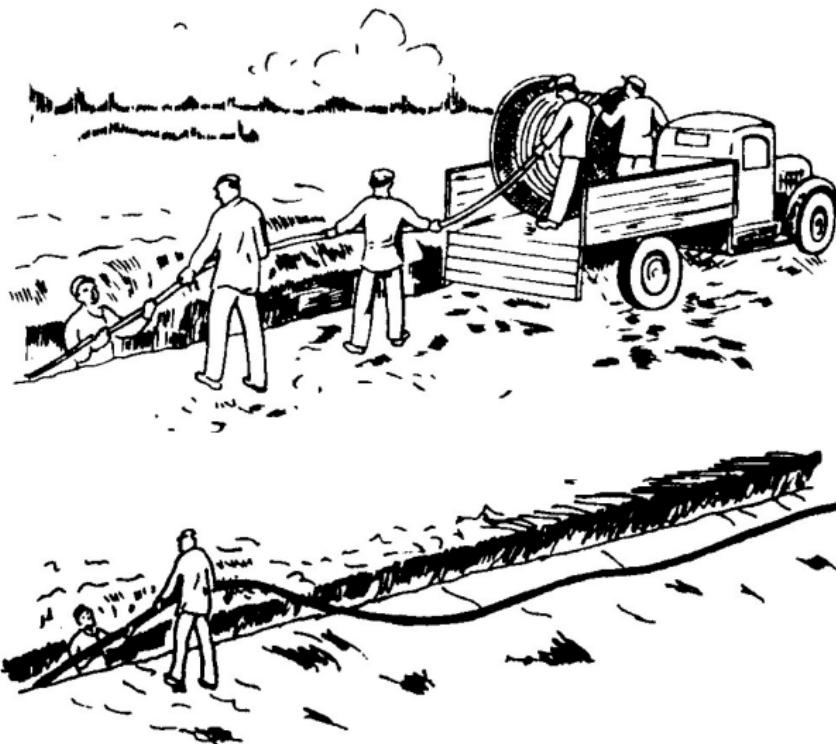
Конструктивни елементи на еден класичен кабел

# Поставување на кабли



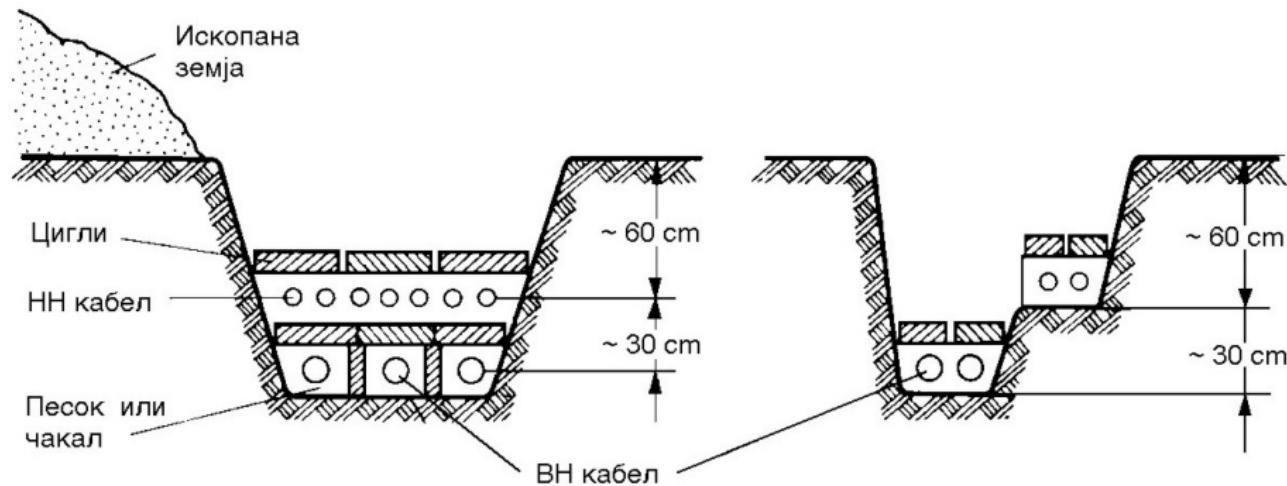
Изглед и димензии на кабелски ров пред полагање на кабелот

# Поставување на кабли

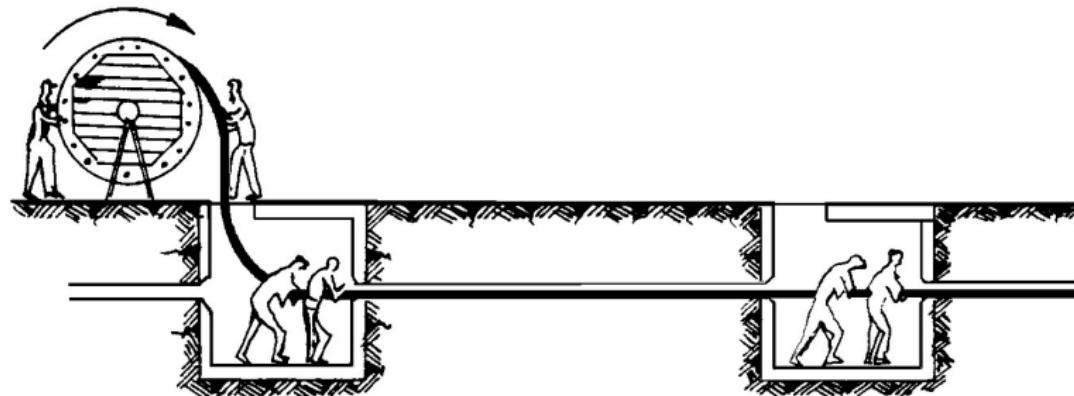


Рачно полагање на енергетски кабел во кабелски ров

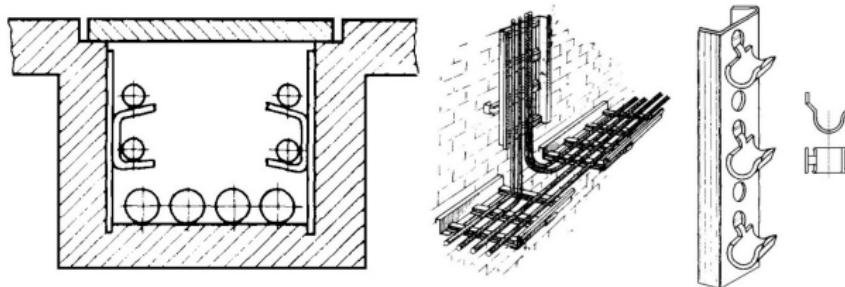
# Поголем број кабли поставени во кабелски ров



# Полагање на кабли

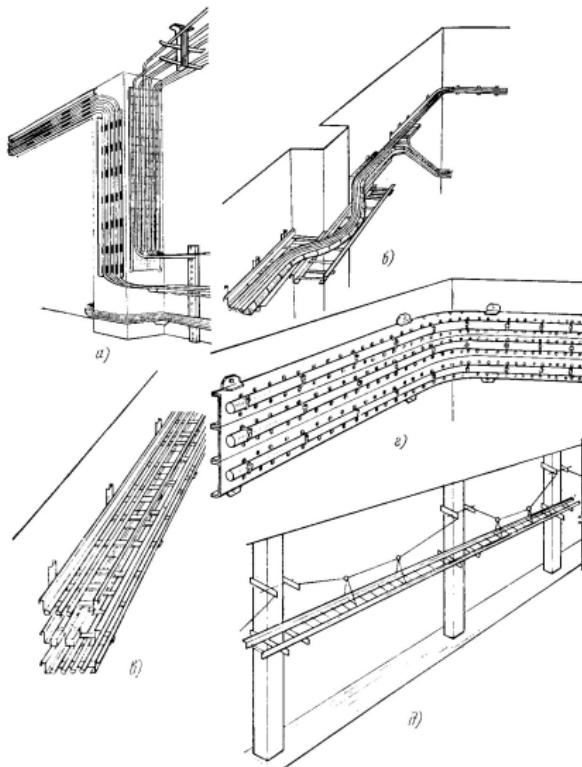


Кабелска канализација



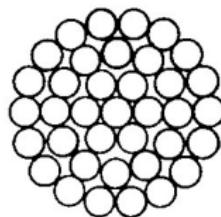
Кабли поставени во кабелски канал (лево); водење на кабли на кабелски регали (средина); специјална конструкција за водење на кабли по сид (десно)

# Различни начини на водење на кабли поставени во воздух

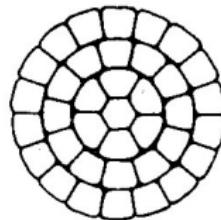


- а) на сид;
- б) на кабелски решетки;
- в) на кабелски регали;
- г) вертикално на сид;
- д) на специјални конструкции

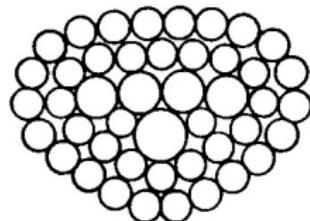
# Облици на спроводниците



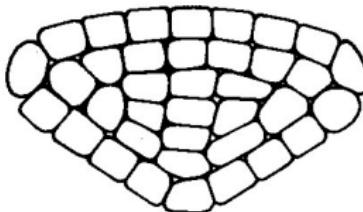
Округол повеќежичен



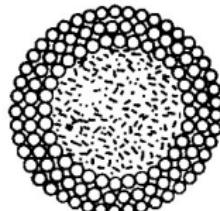
Округол компактиран



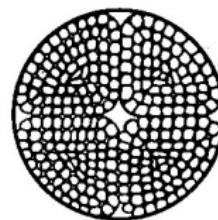
Секторски повеќежичен



Секторски компактиран

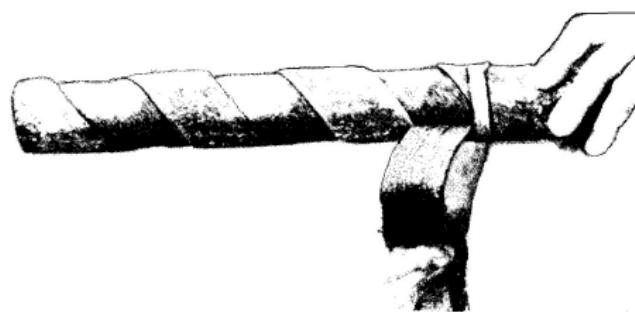
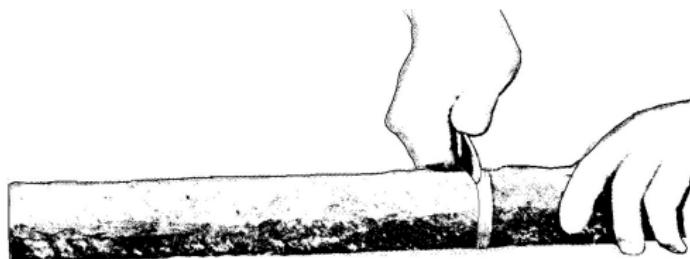


Шуплив повеќежичен

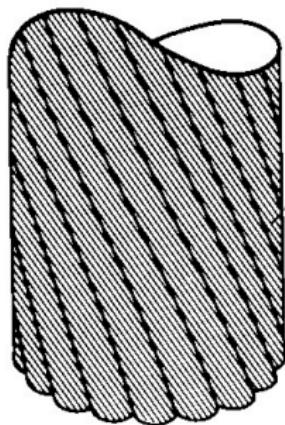


Компактиран сегментен

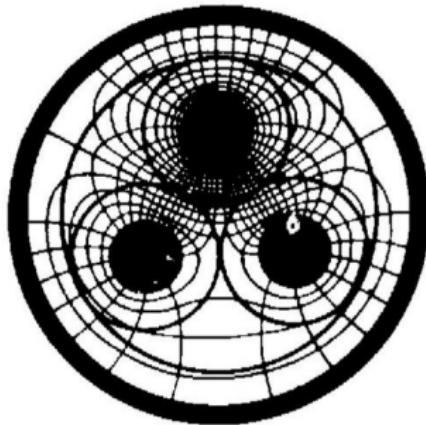
# Метални ленти како механичка заштита на кабелот



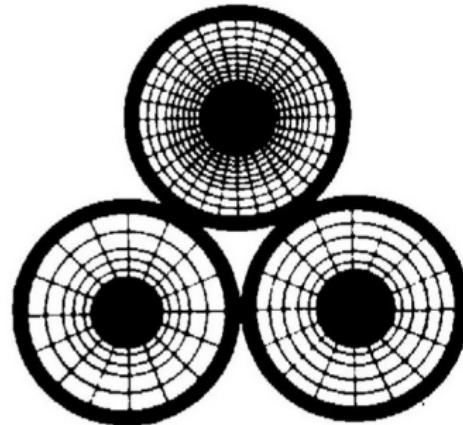
# Електрично поле во трифазен кабел



а)



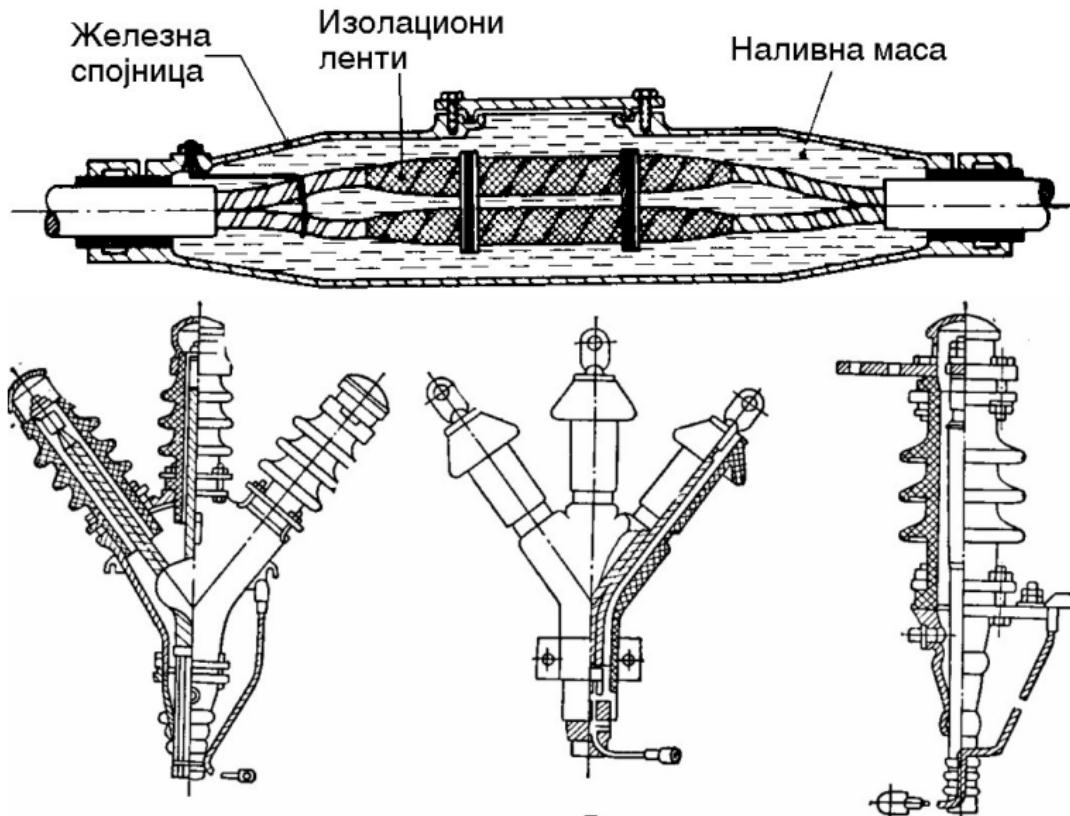
б)



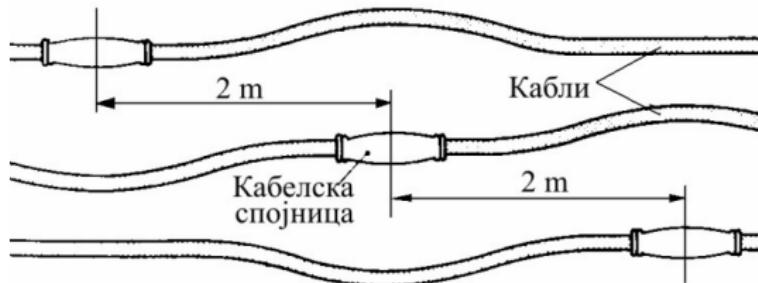
в)

- а) Изглед на површината на спроводникот
- б) Поле без екранирање на жилите (појасен кабел)
- в) Поле со екранирање на жилите (заштитен, Н-кабел)

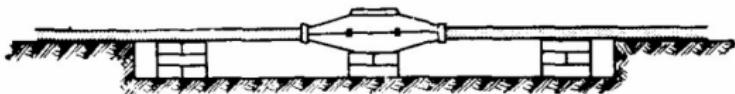
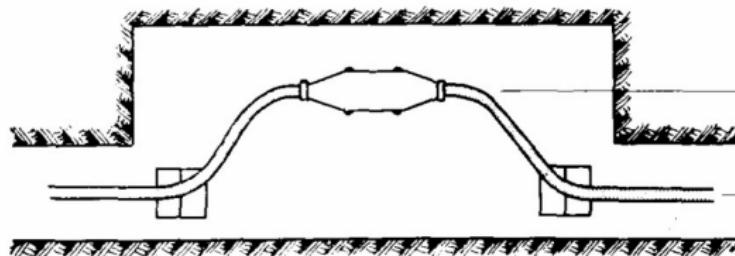
# Кабелски спојници и завршници



# Спојување кабли



Едножилни кабли



Трижилни кабли

# Кабел со изолација од импрегнирана хартија (IP)



за напон од 1 kV



за напон од 35 kV

# Кабел со изолација од поливинилхлорид (PVC)



# Кабли со изолација од вмржен полиетилен (XLPE)

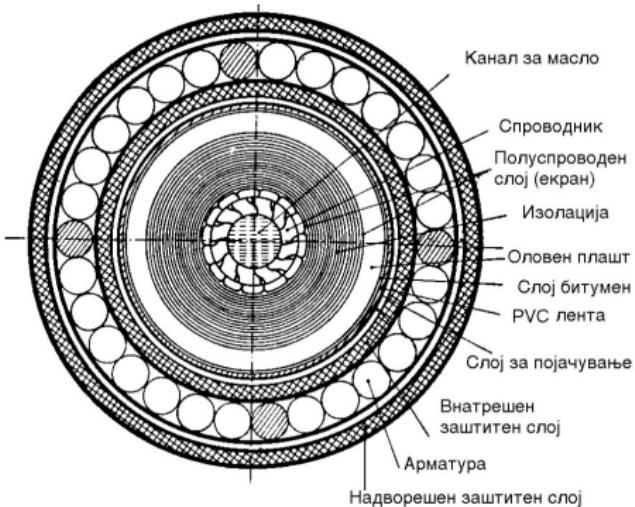


за напон до 10 kV

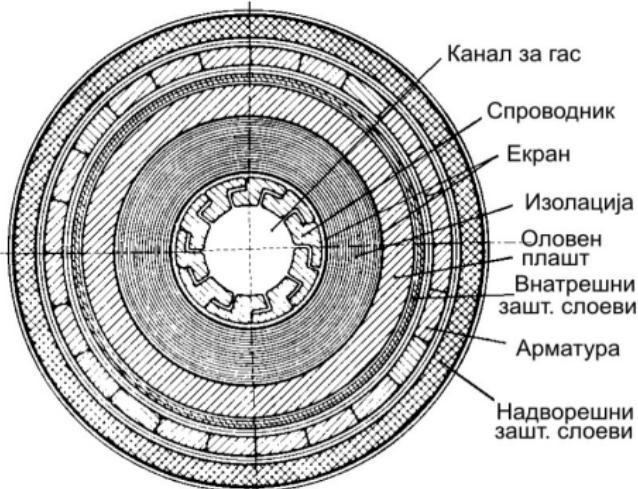


за напон од 20 kV

# Високонапонски кабли со масло и гас под притисок

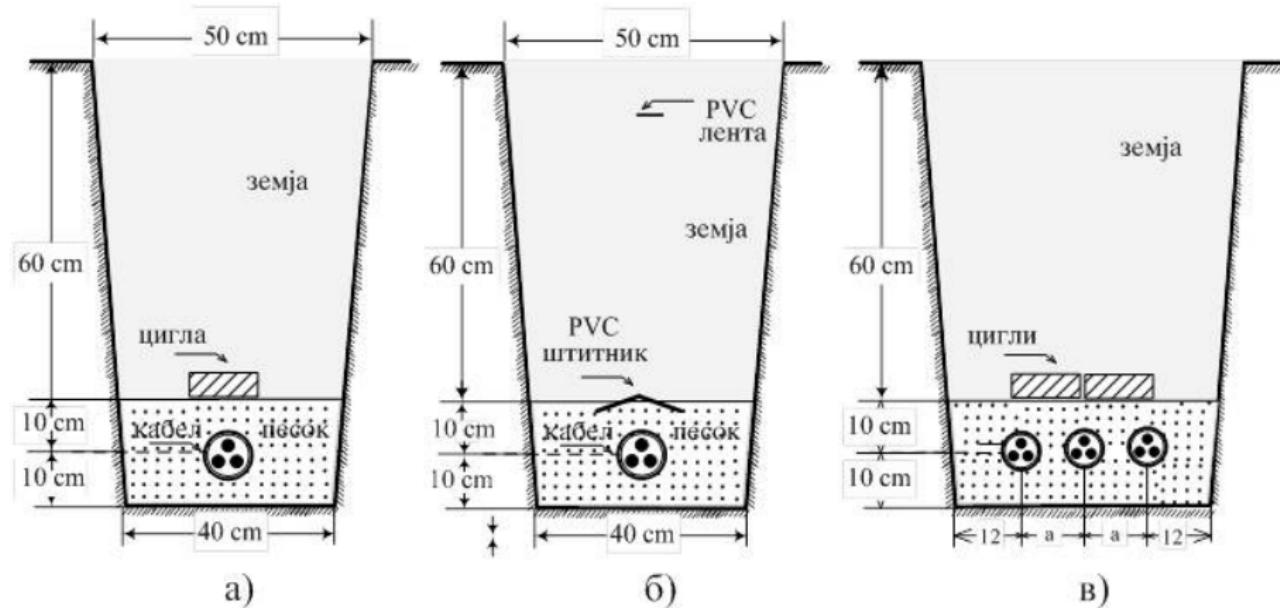


со масло под среден притисок од 0,3 MPa



со гас под висок притисок од 1,5 MPa

# Начини на полагање на каблите во земја



# Трансформатори и автотрансформатори



Трифазен дистрибутивен трансформатор CH/HH

# Трансфор. со моќност од 50 kVA и 8000 kVA



# Основни информации за трансформатори

- Трифазните трансформатори можат да бидат двонамотни (пр. 110/10) и тринамотни (пр. 110/35/10).
- Во мрежите со номинален напон над 110 kV широка примена наоѓаат автотрансформаторите. Имаат помали димензии и цена и помали загуби на моќност. Можат да се користат само во мрежи со директно заземјена неутрална точка.
- Трансформаторите 35/10, 10/0,4, 20/0,4 и 35/0,4 се со релативно мали номинални моќности (од 100 kVA до 4000 kVA) и имаат можност за регулација во безнапонска состојба пр.  $(10 \pm 5 \times 2,5\%)/0,4 \text{ kV/kV}$ .
- Трансформаторите ВН/ВН и ВН/СН се со значително поголеми номинални моќности (од 20 до 300 MVA) и по правило се изведуваат со можност за регулација под товар. На пр.  $(110 \pm 10 \times 1,25\%)/10,5 \text{ kV/kV}$  со моќност од 20 MVA или  $(400 \pm 2 \times 2,5\%)/115 \text{ kV/kV}$  си моќност од 300 MVA.

# Уреди за компензација

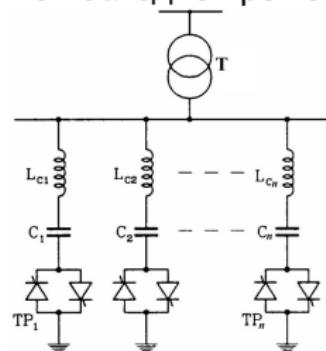
Уредите за компензација на реактивната моќност што ја бараат потрошувачите и елементите од мрежата

- синхроните компензатори (СК);
- синхроните мотори (СМ);
- напречно вклучените кондензаторски батерии (КБ).

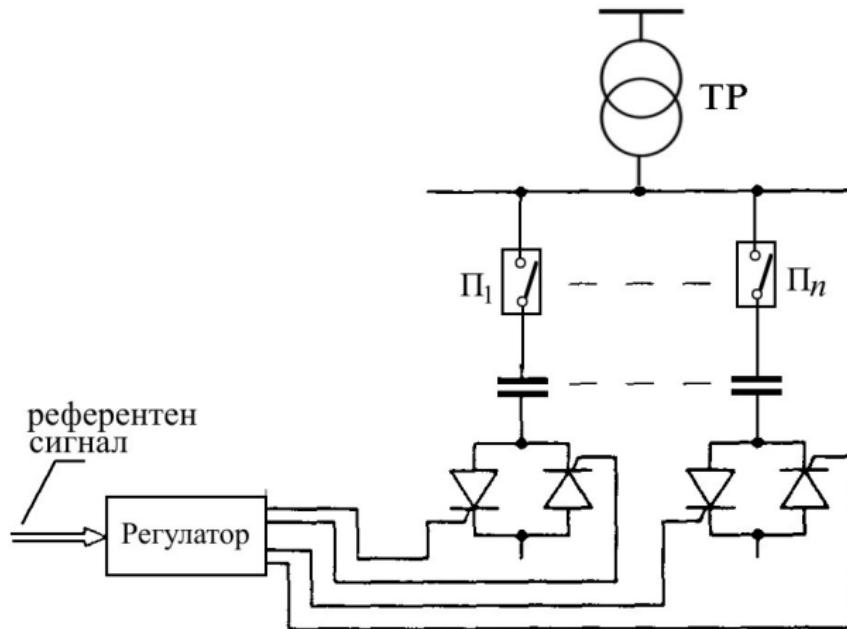
Уредите за компензација на реактивните параметри на водовите

- сериски вклучените кондензаторски батерии;
- напречно вклучените реактори (придушници).

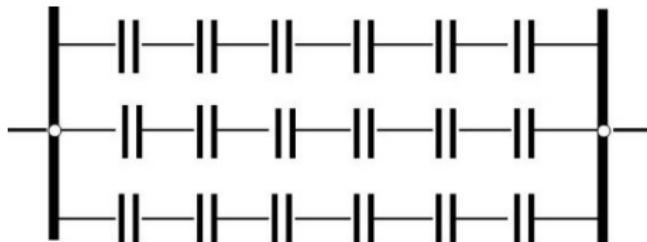
Во последно време се применуваат кондензатори напојувани преку тиристори



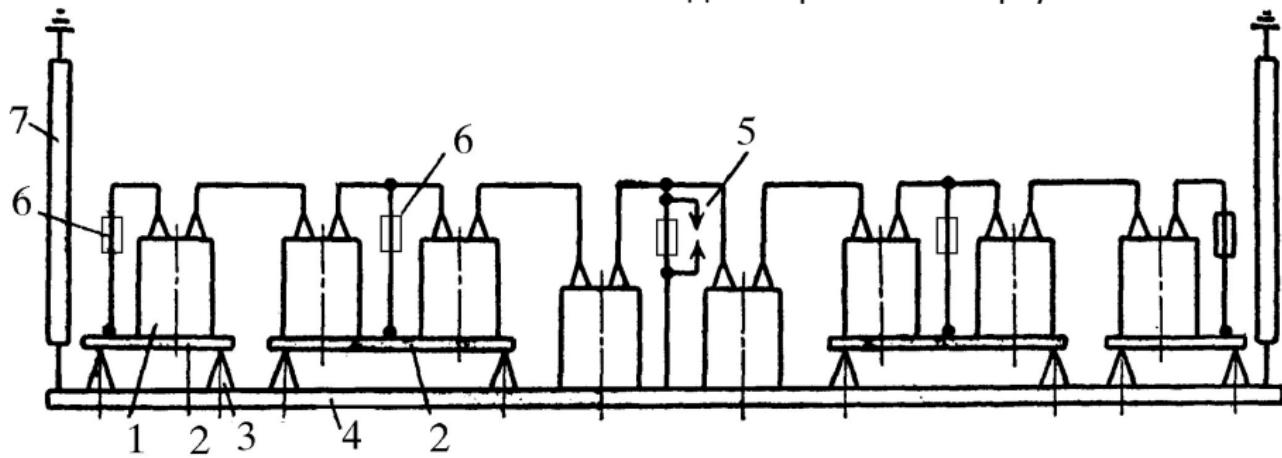
# Статички компензатор



# Формирање на кондензаторска батерија



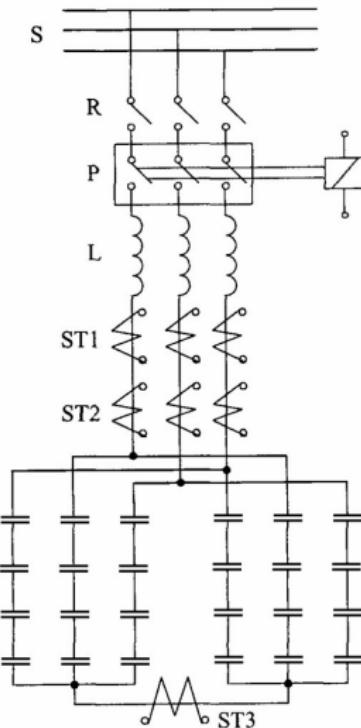
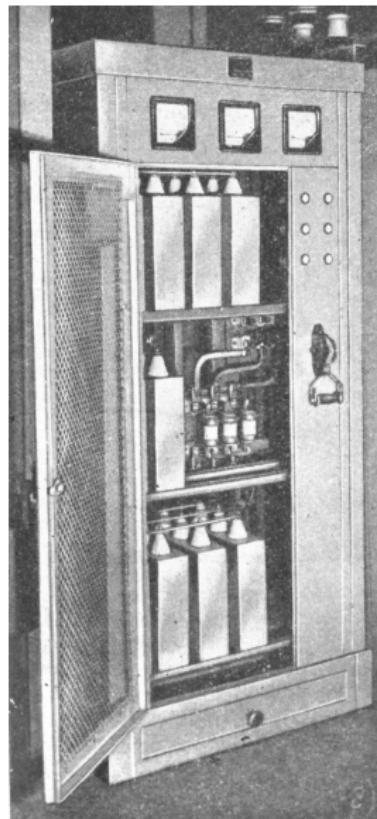
Редно-паралелно поврзување



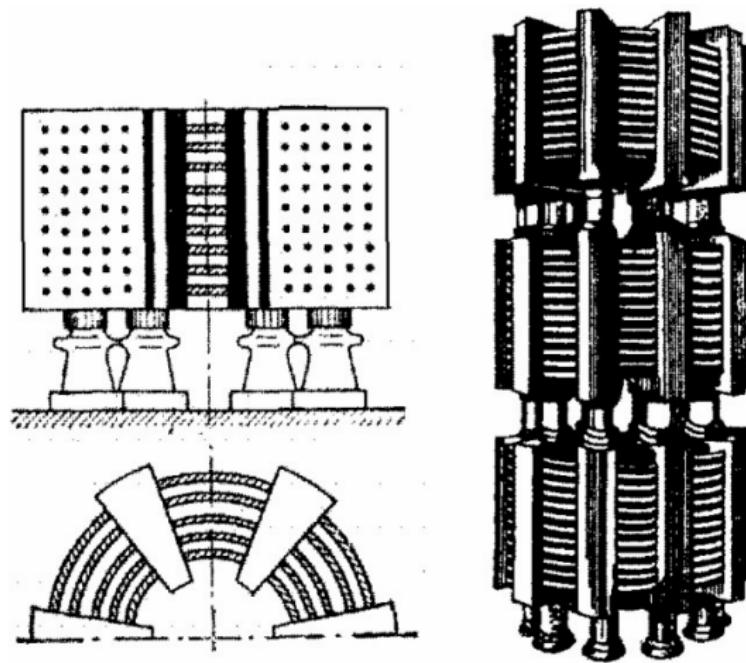
Редна кондензаторска батерија

1) Кондензаторска единица од 50 kvar, 2) Платформа, 3) Потпорен изолатор, 4) Главна изолациона платформа, 5) Искриште, 6) Осигурувач, 7) Изолаторски синџир кој ја носи изолационаата платформа

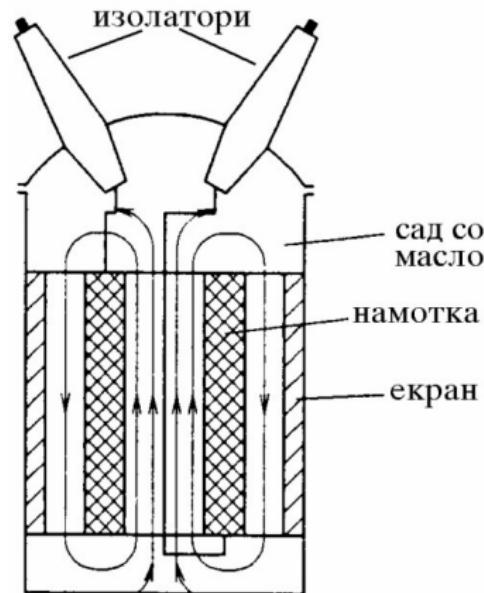
# Кондензаторска батерија за низок напон



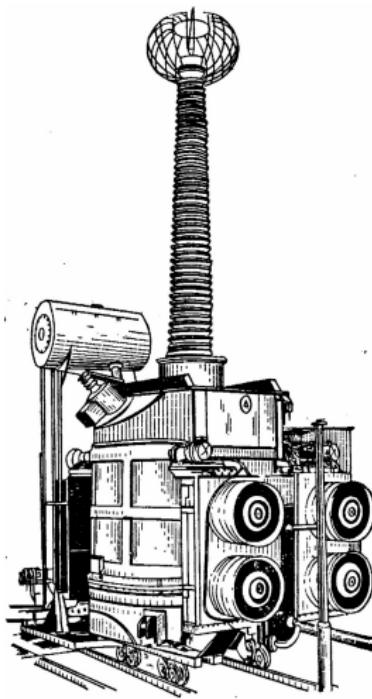
# Бетонска придушница за намалување на струите на куси врски



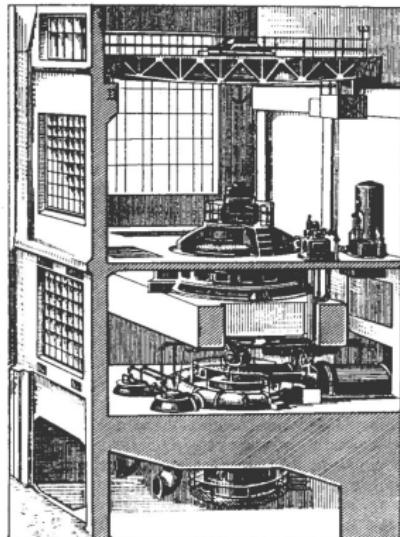
# Маслена придушница за 110 kV за намалување на струите на куси врски



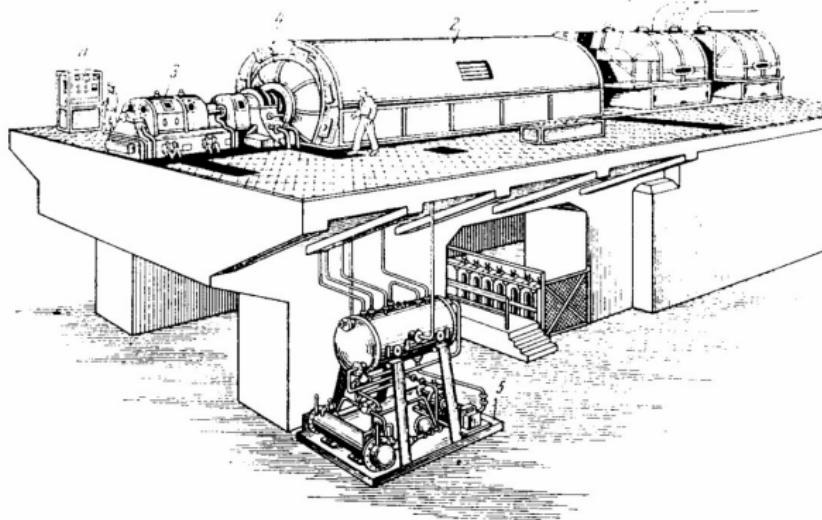
# Реактор за компензација на капацитивноста на еден 750 kV вод



# Изглед на генератори



хидрогенетарор



турбогенератор