

Energetika představuje souhrn procesů sítěvání různých forem energie se všech zdrojů, procesů přeměn a dopravy energie až po její konečné využití.

Do nízké úrovně je energetika úrodná, která zkoumá a formulují zákony jednotlivých energetických procesů, jejich vzájemnou vazbu a jejich návaznosti na jiné oblasti.

Podstata energetických procesů spočívá v přeměně různých forem energie, přičemž dochází ke změněm druhů nebo nositelů energie nebo současně obou.

Každý druh energie je totiž vázán na určitý nositel, kterým může být látka pevná, kapalná nebo plynná.

Energie vyšlytává se v přírodě buď pouze vyprávně dopravená nebo spotřebitelná přímo, ve většině případů se musí přeměnit na jinou vhodnou formu, říkáme, že se energie musí sprostředkovat.

Přírodní zdroje využívané v průmyslovém měřítku:

- 1) Chemická energie paliv
  - a) tuhá - černé, hnědé uhlí, antracit, lignit, rašelina, dřívko.
  - b) kapalá - ropa, zemní oleje.
  - c) plynná - zemní a uhelný plyn.



Elektróenergetika je obor energetiky, ktorý sa zaoberá procesy výroby, dopravy a užívania elektrickej energie.

Je stupňom rozvoja elektroenergetiky veľmi úzko súvisí s technickým rozvojom v oblasti priemyselnej výroby, ~~ekonomiky~~ hospodárstva, stavebníctva, dopravy, ale i ideami životnej občianstva.

Charakteristické vlastnosti el. energie

- umožňuje vysokú produktivitu práce
- vytvorí hygieniu a pohodlie života a v mieste spotreby nemá hluk, pech, výpar, a pod.
- umožňuje technický pokrok
- vysoká koncentrovanosť umožňuje ľahkou dopravu na vzdialených a menej hospodárnych oblastiach a ľahkosť do miesta spotreby
- možnosť ľahkej premeny na iné formy energie
- ľahkosť úloženia a miernu dodanú energiu.

Nevýhodné vlastnosti:

- nehlednosť - spotrebiteľ musí byť v blízkosti skomrotovej kľúčovej výroby.
- neúspešnosť - nemá praktickú hodnotu ľudským smyslom.
- vplyv na životnú prostredie - exhalácie, emisie...

# Historický vývoj výroby a rozvodu.

První praktické využití rozvodu vysokým napětím provedl francouzský fyzik

Marcel Deprie v r. 1881 - princip prvního potěpřef. drátu.

v r. 1882 - první ve vzdálenost 57 km napětím 1500-2000 V z Miesbachu do Muhlau (menší vzdání v Muhlau)

Účinnost výtahu byl 2 ks, účety v jímě 78%

U nás v r. 1884 v zářivkové plynnosti se zviditel pohybové stěnce pro výhledu a povrhiti elektřiny. & dynamu na 35 fond (1. xerioné je obložkové lampy 1 deivacím je osvětlení zářivkami).

1888 - první městská elektrárna na Liatone (střivomice) rozvod dvouúrovňový (120V je osvětlení zářivkami) 700V je - " - obložkové lampy) Rozdějí se jústě na třídě 2 x 120 V.

1886 - N. Tesla objevil princip točivého pole

1888 - Dolé-Dobrowská - asynchronní motor.

1891 - " " - seoferson první z Lauffemu do Frankfurtu na vzdálenost 175 km. V Lauffemu vodní turbína + alternátor 200 kVA, napětí 95V + trafo 95/1500 V. Linka jednoduše měřicími vodiči  $\phi 4 \text{ mm}$ . Energie povrhita je osvětlení a dále je pohon  $\text{česm}$  100 ks. Účinnost jímě 77%.

## Osobnosti české elektrotechniky.



①

F. A. Petřina - 1799 ÷ 1855. Od r. 1844 řádným profesorem na pražské univerzitě. Byl prvním Čechem, který se zabýval telegrafií.

K. V. Zenger - 1830 ÷ 1908. Žák Paternova. R. 1863 jmenován prozatímním profesorem a pak řádným profesorem na české technice v Praze. Ke jubilejnímu výstupu r. 1891 uspořádal výstavní svých vynálezů a vědeckých prací (35 vědeckých příspěvků a přes 240 pojednání v šesti vědeckých jazycích).

K. Domalip - 1846 ÷ 1909. Je prvním podnikatelem o elektrotechnice.

F. Kráček - 1847 ÷ 1941. Zdokonalil obouhousu lampy. Postavil kaňon el. drát od lanové dráhy na Letné do Stromovky 800 m dlouhou. R. 1896 postavil tramvaj z Karlína do Libně. Za počátek století stavěl el. mosty mostem dráhu Tábor - Bechyně.

J. Domaň - 1858 ÷ 1937. Konstruktor jarmik strojů, akeovarské strojů, jízdy, mosty. R. 1887 založil v Brně elektrotechnický závod „Bartelmus, Domaň a spol.“. Továrna vyrobila za dobu života 24.000 strojů, více než 1000 transformátorů, postavila 60 elektráren, 80 km el. nití. V Domaňově konvenční působil i pozdější profesor pražské techniky prof. Sumec.

E. Kolben - 1862 ÷ 1943. Vystudoval pražskou techniku a ošel na službu po Evropě a USA. Postoupil jeho elektrotechnický do konstruktérského oddělení v Edisonově továrně s platem 15 dolarů týdně. Zde se seznámil s N. Teslou.

Do čtyřech roků pracoval jako seřhovatel. Z USA\* (2) přešel do Švýcarska k firmě Oerlikon. Když odešel od firmy konstruktér C.L. Brown (spolčil s W. Borerem továrnu Brown, Borer & Co.), nastoupil Kolben na místo konstruktéra. Ve své továrně svedl jako první u nás stejnosměrnou síť. Jeho úvaha v Kolbenu: stroje nebyly poháněny a transmisí, ale každý stroj měl svůj motor.

J. Sumec - 1867 ÷ 1934. Absolvoval upří. školy v Olomouci, Římě (doktor filosofie). R. 1902 profesor na české technice v Brně. Svedl různé metody do konstrukce. Zavedl na je. pojem A-civilizace, první krouhový diagram indukčních motorů. Svedl teorii jednofázového motoru (repulsní, seriový, derivivní). Objasněl komutační proces.


K. Novák - 1867 ÷ 1941. Je zhladatelem konstruktivní elektrotechniky. R. 1907 je jmenován profesorem konstruktivní elektrotechniky, které měla tři disciplíny - el. stroje, el. přístroje, elektřinostroj. Byl prvním předsedou ESC, který vznikl v r. 1918 se spolku českých elektrotechniků.

V. Posík - 1874 ÷ 1952. Lák profesora Domalje. Věnoval se studiu elektřinace bežných předmětů a hospodárnosti různých druhů výroby el. energie.

L. Šimek - 1875 ÷ 1945. Měl velký vliv na rozvoj české silnoproudé, středoproudé a zejména vysokofrekvenční elektrotechniky. Je spolek s prof. Sumcem a prof. Novákem evropským inženýrem a pilněm naší silnoproudé elektrotechniky. Do první světové války se jeho zájmem uskutečnilo první jediné lezecké spojení pražské petiční výhledy s výhledem Paříž-Eifel.

Miš neoceniteľnou službu o výskume v elektrotechnike<sup>(\*)</sup> (3)  
oboru a vypracoval celou řadu odborných výzkumů elektrotechniky.

V. List - 1877 ÷ . v r. 1909 je profesorem elektrotechniky v Brně.  
Velmi se zasloužil o organizaci, normalizaci a laudování spolku EŠČ.  
Autor mnoha knih zejména nicholiteratury „Technického přehled“.

R 1899 elna hl. miesta Praha v Holšovicích s intal. výkonu 5  
2500 kW, trojfázová napětím 3000 V. 

Overthly elektisece jron charakterizovaný souprávním  
meri 85 a št. seavodem.

VŠ púvos švýcar **Thury** v r. 1906; 57 kV<sub>SS</sub>, <sup>4600 kW</sup> 6300 kS na 180 km  
z Meudons do Lyonn. 4 vodní turbíny + dva dvojité SS generátory  
isolovani od sebe. Dve mlinny v Lyonn s motory VU. Ty pokrývají  
výkon n.m. V roce 1927 systém rozšířen  
adélka vedení narostla o 80 km. Napětí zvýšeno na 125 kV.  
Průběžný výkon vzrostl na 19 MW.

Súvhlád systém trojfázový. Hlavní důvody byly tyto:

- nelmi vysoký ústí místa lokálních výkonů elektisece
- zmená na pevných stojci přístojch pevnými turbínami  
o vysokých výkonech a vysokých otáčkách.
- potúba od používání el. generátoru o vysokých několika  
desítek tisíc kW s otáčkami až 3000 ot/min - to neso  
dostátnost SS stojci (problematika komutace).

Se vzrostem výkonů elektisece a jejich vzdáleností od spotřebity  
zostlo si napětí potřebné po púvos velkých výkonech na velké  
vzdálenosti.

V roce 1912 první vedení na 110 kV v Evropě. Do 1. světové  
války zvýšeno na 220 kV. Dabó zvýšeno jeh na 400 kV.  
Staly se ot. výkon, vzdálenost a napětí ukázo, že 3-fázový  
systém na své hranice a je nutné hledat nové  
spúsohy ústí púvos na velké vzdálenosti.



Při teořfázovém pěnírom el. energie vystupují do popedu dva hlavní problémy:

- a) problematika puvnosti vysokého napětí
- b) problematika stability chodu celého systému.

ad a) Při puvnosti velmi vysokého napětí vystupují do popedu dva hlavní problémy: ~~střecha varnik korony a střecha vedace vedení a transformace.~~ Korona (zářivý ses usduchu) vzniká na velmi zahříváních plochách a hrotech, při puvnosti 1. sv. počátečního napětí korony. Při napětích asi nad 80 kV efektivně je korona rozhodující pro volbu puvnosti vodičů a spoleurohodující pro volbu vzdálenosti mezi vodiči vzhledem ke střetání letící písole. Mimo to korona způsobuje puvody v rozhledném napětí (příjem) a dále vznik vysokých harmonických puvodů a napětí v síti.

ad b) Puvoděným způsobem meridvěna teořfázovým systémem při daném napětí nemuse přestoupit určitou hodnotu. Při jejím puvování dochází k puvování (odpojování) obou systémů, z čeho se došlo k puvování podmínek stability puvrom.

Přenos el. energie ss. proudem.

Při tomto způsobu přenosu odpadají problémy se stabilitou přenosu. SS přenos vysídlyje 2 vodiče - vedoucí je opatřeno 3f. lincejím. Neexistují žádné proud a tedy ani žádné střety. Střety koronou při ss přenosu jsou podstatně méně než při přenosu střídavým. Můžeme proto volit menší průměry vodičů. Střety koronou jsou v praxi při stejné úrovni napětí napřevněn ss proudem 5-10 x menší, než při napřevněn střídavým. Uvažujeme-li stejné Umax (výsluhum - Svědcho l. 1946). Dlouho se uvažovalo, že při ss proudě je správně volit při stejné úrovni napřevněn vodiče a při stejných střeškách koronou napřevněn vodiče  $\sqrt{2}$  x větší než při střídavém proudě. Tento názor potvrdily i četné pokusy prováděné v laboratorické na vodičích různých průměrů a druhů.

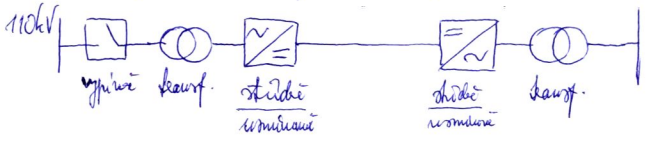
Alle pokusy na pokusném vedení délky 480 m ve Svědchu v roce 1946 prováděné střídavým a stejnosměrným proudem ukázaly, že při stejné maximální napřevněn vodičů, byly střety koronou při ss. proudě 5-10 x menší než při proudě střídavém.

Tento přírůstek výdele byl vysvětlen poději. Uvažalo se, že menší vodiče kde je ss napřevněn je celý prostor mezi nimi vyplněn ionty, kteří se mezi vodiči pohybují střídavě

rychlosti ruholika denteh m/sec. Cím uctri je  
 objem vypluvny ionty, tím silněji omezy jejich  
 peostorový vdelej poud koony. Cím uctri je teč vzdalost  
 vodiči, tím rychlejš blíž stety koony.

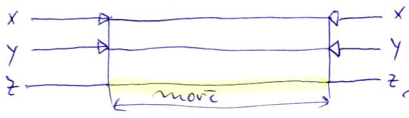
Sú stúdením napeti 50Hz se udržtané ionty se  
 dolen públubny dol od vodiči na 15 - 20cm.  
 Objem s ionty je malý a nesohrni pehticky na vzdalosti  
 vodiči. Proto se stety koony zmenšují jü zútožným  
 vzdalosti mezi vodiči mnohem pomelji než u poudru  
 stejnoměrného.

Schema stejnoměrného púrom je na obr. 1.



obr. 1.

úkladění púpedy púrom el. energie na obr. 2



obr. 2

po určení 1 fáze  
 podvostého kalulu.

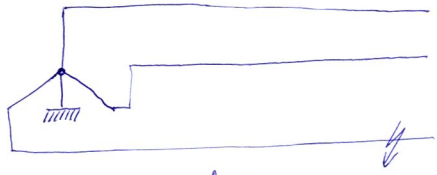
Pronečo pouze pokurní.

Prova energet. systému a kladiska nulovického bodu.

Energet. systém musí být proveden:

- a) s uzemněným nulovým bodem (systém účinně uzemněný)
- b) uzemněn přes impedanci (Petersonova tlumivka) (syst. neúčinně uzemněný)
- c) s izolovaným nulovým bodem

Ad a) účinně uzemněná soustava obr. 3



obr. 3

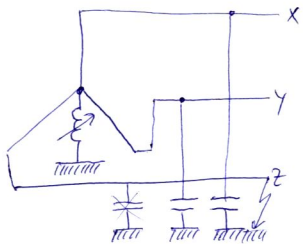
Při poruše jedné fáze - jednofázový zkrat - musí dojít k okamžitému vypnutí.

80% všech poruch je pouze v jedné fázi, proto je zaveden systém OZ (nyp-zap-nyp), a proto je v každé fázi samostatně ovládaný vypínač.

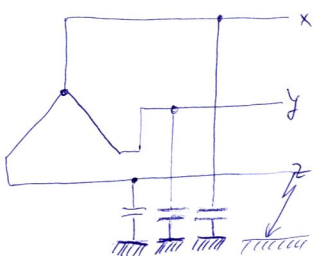
Dvoufázový provoz způsobí soustavy je možný, ale původním účelem klomů na  $\frac{U_0}{\sqrt{3}}$ .

Ad b) neúčinně uzemněná soustava obr. 4

Při poruše teče do místa zemního napětí zemní kapacitní proud. Zkřivčí tlumivka speevodí omisi tyto proudy bez původem vypínače.



obr. 4

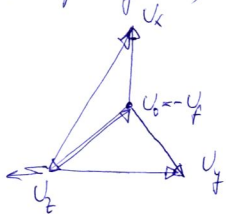


obr. 5

ad e) izolovaná soustava obr. 5

Při poruše, zejména arčí kapacitní proudy vedou k obilhození  
 hřemí, v hojném případě porucha přejde ve "medvědího" skřek.  
 Uvidení je pak třeba odpojit.

Napítení poměry ad b) a ad c) obr. 6



obr. 6.

Napítení odměrek fází x, y stupně  
 na hodnotu odměřkou.

Důsledky:

nedem ji třeba izolovat na hodnotu  
 odměřkou napítení. Izolaci transformátoru  
 je rovněž třeba dimenzovat na  $U_s$ .

Napítení nastaveníbleskojistek musí být o 25% větší než  
 v systémech přímo uzemněných.

Izolace soustavy musí být rovněž vyříd, opíneči "přepětí"  
 dosahují hodnot vyřídění.

# Systemy elektrického rozvodu

Podle účelu ke kterému má sloužit můžeme má dělit na  
místní (distrikční) - přepravu m.m.

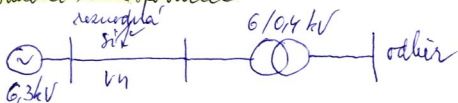
oblastní - zkušovací má vn - 22,35 kv

národní - pro to má vvn - 110, 220, 400 kv.

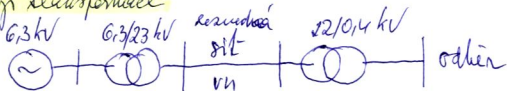
Na tyto má pro napojení různých velkoobjemových  
 spotřeb má se uskutečňuje také pomocí vodní polypřevodů  
 v přepravě el. energie.

Průběh: u nás se má 110 kv začne rozšíř do má oblastních  
 z tohoto hlediska přepedá u nás v úseku maximální účinné  
 transformace. Má pro samostatné na příslušné úseky  
 hledíme vzájemně propojení, čili retroaktivní poruchy  
 tak jak je uvedeno na obr. 7.

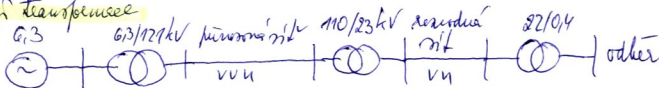
## Jednoduchá transformace



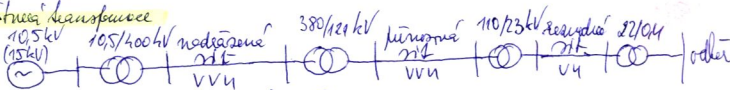
## Dvojí transformace



## trojí transformace



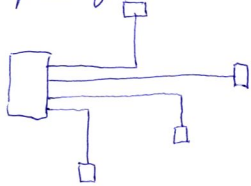
## čtyřnásobná transformace



obr. 7

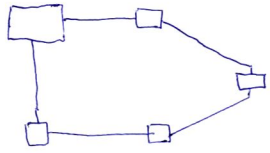
Rozdělení rozvodných systémů podle způsobů napájení:  
 nepřehledný typy:

a) paprskový rozvod obr. 8



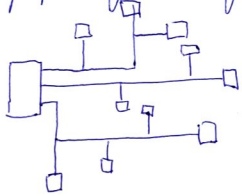
obr. 8

b) okružní rozvod obr. 9



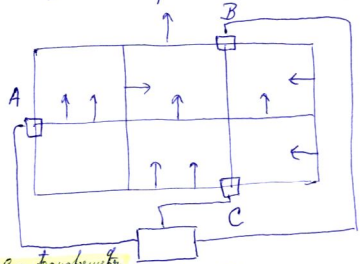
obr. 9

c) paprskový rozvětvený obr. 10



obr. 10

d) mřížový rozvod obr. 11



A, B, C - tranzitní napájecí body obr. 11

Bude podrobně proběhno při vyšetř. mří.

Rozdělení napětí v ČR

- 1) Malé napětí - mn
- 2) Nízké napětí - nn
- 3) Vysoké napětí - vn
- 4) Velmi vysoké napětí - vvn
- 5) Zvláště vysoké napětí - zvn
- 6) Ultra vysoké napětí - uvvn

Tab. 1 Rozdělení elektrických zařízení podle jejich provozního napětí

Kategorie napětí	Označení napětí	Název zařízení	Jmenovité napětí		
			v uzemněné soustavě		v izolované soustavě
			mezi vodičem a zemí	mezi vodiči	mezi vodiči
1	2	3	4	5	6
I	mn	zařízení malého napětí	do 50 V**)	do 50 V**)	do 50 V**)
II	nn	zařízení nízkého napětí	nad 50 V do 600 V včetně	nad 50 V**)	nad 50 V**)
A	vn	zařízení vysokého napětí	nad 0,6 kV a menší než 30 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV
B	vvn	zařízení velmi vysokého napětí	od 30 kV a menší než 171 kV	od 52 kV a menší než 300 kV	od 52 kV a menší než 300 kV
C	zvn	zařízení zvláště vysokého napětí	—	od 300 kV do 800 kV včetně	—
D	uvvn	zařízení ultravysokého napětí	—	nad 800 kV	—

\* Sdělovací zařízení s napětím mezi vodiči v izolované soustavě do 85 V včetně se pokládají za zařízení nn.  
 \*\* Sdělovací zařízení se jmenovitým napětím 60 V proti zemi a vyznačení obvodu s napětím do 150 V se budují podle předpisů pro zařízení malého napětí a ověřují se při zkoušce elektrické odolnosti napětím 500 V.  
 \*\*\* Pro stromořezná zařízení je hranice mezi malým a nízkým napětím 120 V. Hranice mezi nízkým, a vysokým napětím se pro stejnosměrná zařízení napětí 1 500 V.

Jmenovité napětí - napětí na které je soustava dimenzována  
u stídaného napětí je to efektivní hodnota.

Nejvyšší dovolené provozní napětí - je rozhodující pro výběr izolace

Jmenovité napětí <sup>výběr</sup> podle maximálních předpisů IEC

$U_n$	$U_{max}$	$U_{chuzební}$	$U_{chuzební\ v\ obz}$
6,6 kV	7,2 kV	27 kV	66 kV
22 kV	24 kV	55 kV	125 kV
110 kV	121 kV	* 185 kV	* 450 kV
220 kV	245 kV	* 335 kV	* 900 kV
380 kV	420 kV	* 630 kV	* 1425 kV

\* při izolovaném uslu napětí ještě vyšší.

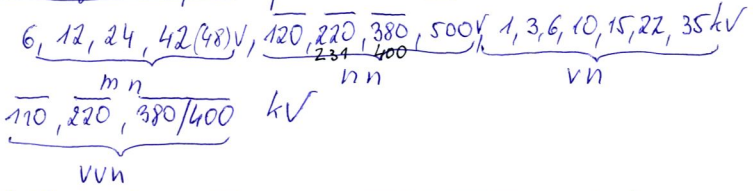
Unob jmenovité napětí ČSN 340020

maximální a chuzební ČSN 340028

Pro el. zařízení se určuje ochranná hloubka - plus a redukovaná

hloubka se používá pro izolované systémy.

Kada jmenovitých napětí v ČR:



Podtržené napětí jsou v síťové usměrněném systému.



## Rada výstupních napětí transformátorů:

Tato napětí se liší od řady jmenovitých napětí. Do 35 kV včetně je výstupní napětí o 5% větší než jmenovité. Nad 35 kV o 10% větší než napětí jmenovité.

Tato výstupní napětí jsou volena s ohledem na úbytky napětí ve vedení. Na konci vedení musí být napětí jmenovité.

V současně době nás rovněž spíše nejméně provází napětí. Toto napětí je dáno pevností vodičů, transformátorů a požadovky opotřebičů.

Porovnání: jmenovité napětí podle mezinárodního soustavy IEC se používá liší v některých hodnotách od řady ČR.

ČR	6 kV	10	15	22	35	-	-	110	-	-	220	-	380
IEC	6,6 kV	11	16	22	33	47	66	110	132	150	220	275	380

## Rada napětí podle mezinárodních předpisů IEC

3,3; 6,6; 11; 16; 22; 33; 47; 66; 110; 132; 150; 220; 275; 380 [kV]

## Rusko

3; 6; 10; 20; 35; 110; 150; 220; 330; 400; 500; ~ 700 uzavírají se

6/6,9; 10/11,5; 35/40; 110/121; 220/242 <sup>jmenovité</sup> nejvyšší možná

## Česko

3; 10; 20; 30; 60; 110; 220; 380

řada 10 kV - 5; 6; 10 kV

řada 20 kV - 15; 20 kV

řada 30 kV - 25; 30 kV

10/11,5 ; 20/23 ; 30/35 ; 110/125 ; 220/250 ; 380/420

**Francie:**

5,5 ; 15 ; 20 ; 30 ; 63 ; 90 ; 150 ; 225 ; 380 ;  
30/36 ; 225/250 ; 380/420

**Anglie**

3,3 ; 6,6 ; 11 ; 22 ; 33 ; 44 ; 66 ; 88 ; 110 ; 132 ; 165 ; 220 ; 275 ; 400  
6,6/7,2 ; 11/12 ; 22/24 ; 110/121 ; 220/242 400/400

**USA: 60 Hz**

4,16 ; 7,2 ; 13,8 ; 14,4 ; 23 ; 34,5 ; 46 ; 69 ; 115 ; 138 ; 161 ; 230 ; 287,5 ; 330  
23/25,8 ; 115/121 ; 230/242

Střunová napětí: voličární, nízkoúrovňová, vysokourovňová atd.

12 ; 24 ; 48 ; 60 ; 110 ; 220 ; 440 ; 600 V

Tržby střunová: (600) ; 750 V ; 1500 ; 3000 ;

**ES ČR**

Elektrický	Podíl	Inst. výkon	%	Transformační	Inst. výkon
Termín	44	9261 MW	69,8	400/220 kV	1937 MVA
jaderní	2	2760 MW	12,3	400/110	7320 MVA
Vodní	119	1372 MW	9,6	220/110	4793 MVA
závěsní	558	1893 MW	13,3		
celkem	722	15286	100	celkem	14050 MVA

Ovládací:

- Velkoúrovňová 20%
- Malooúrovňová 30%
- úrovňová 10%
- úrovňová 2%
- úrovňová 8%
- úrovňová 7%
- úrovňová 1%

Délka vedení:

- 400 kV ~ 2600 km
- 220 kV ~ 1600 km
- 110 kV ~ 8000 km
- 22 kV ~ 60000 km

# Základní elektroenergetické pojmy.

16

Energetická soustava -

soubor výroben energie elektrické, tepelné, jaderné se soustředěním pro rozvod a spotřebu.

Soustava centralizovaného zásobování teplem -

část energetické soustavy zahrnující teplárny, výtopny, tepelný rozvod a tepelné spotřebiče včetně měřicích regulačních a ovládacích zařízení.

Elektrizační soustava -

část energetické soustavy obsahující zařízení pro výrobu, rozvod a spotřebu el. energie.

Samostatně provozovaná soustava -

soustava, která není propojena s jinými elektrizačními soustavami.

Propojená elektrizační soustava -

soustava, která vznikla propojením elektrizačních soustav několika zemí se společným operačním řízením

Elektrické vedení -

vodivé spojení pro přenos elektrické energie.

**Elektrická stanice -**

(transformační, spínací stanice, měřična, kompenzační) -  
stanice se zařízením, které slouží k transformaci, kompenzaci,  
měření nebo rozvodu el. energie.

**Elektrická síť -**

soubor všech galvanicky spojených částí vedení  
a stanic téhož napětí, určený k přenosu, měření a  
rozvodu el. energie.

**Nadřazená síť - (400kV, úroveň 220kV)**

část elektrizační soustavy, které má z hlediska škody  
nebo provozu větší důležitost vzhledem k částem  
elektrizační soustavy, které napájí a které jsou speciálně  
měřeno napětí.

**Přenosová síť - 220, 110**

část elektrizační soustavy, tvořící přenosovou cestu  
pro napájení velkých stanic nebo sítí, speciálně vyžádáno  
napětí.

**Rozvodná (distribuční) síť - 22**

část elektrizační soustavy, které slouží pro dodávku  
elektrické energie odběratelům.

**Elektrický rozvod -**

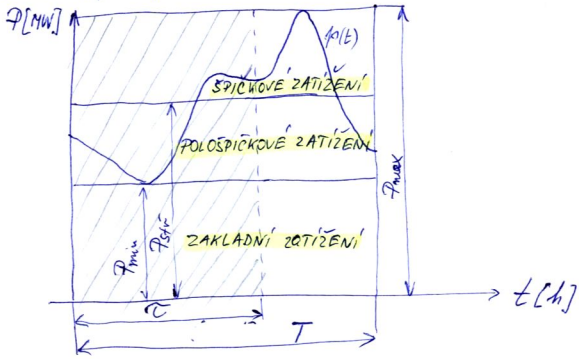
soubor všech vzájemně propojených elektrických  
sítí a elektrických stanic

**Elektrárna (tepelná, jaderná, vodní) -**  
výrobna, využívající elektrickou energii:

**Teplárna -**  
tepelná elektrárna s kombinovanou výrobou tepla a elektrické energie

**Instalovaný výkon  $P_i$  [MW, kW] -**  
je součet jmenovitých výkonů všech připojených nebo připojitelných spotřebičů.

**Diagram zatížení -**  
je průběh výkonu (výkonu) v závislosti na čase podle obr. 12, kde je uvedena i doba využití  $T$ .



obr. 12

19

Rozsahové diagram denní (24 h), týden (24 · 7 = 168 h),  
měsíční (24 · 30 = 720 h), roční (24 · 365 = 8760 h).

**Maximální zatížení  $P_{max}$  [MW, kW]** -

je největší výkon (výkon) odebraný nepřetržitě po dobu 15 minut ve sledovaném období. Tato výše má hodnotu se zjistí z údaje speciálních měřicích přístrojů (maxiprint, elektroměr s ukazatelem maxima).

**Minimální zatížení  $P_{min}$  [MW, kW]** -

je nejmenší zatížení ve sledovaném období. Uvažuje se podobně jako  $P_{max}$ .

**Kákladní zatížení** -

je to spodní část diagramu na obz. 12 pod minimálním zatížením.

**Polospíchové zatížení** -

je to oblast diagramu od minimálního do středního zatížení.

**Špičkové zatížení** -

je to oblast diagramu nad středním zatížením.

**Doba vyžití [h]** -

je to počet hodin po které musíme provozovat maximální výkon  $P_{max}$ , abychom spotřebovali stejnou práci jako při časově proměnném výkonu  $P(t)$  za celé sledované

období  $T$ .

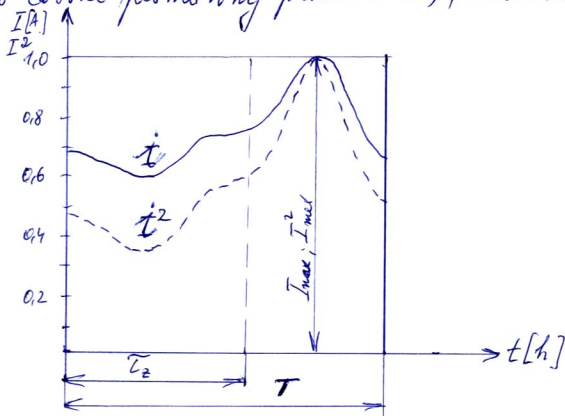
ú 20

$$P_{\max} \cdot \bar{t} = \int_0^T \varphi(t) \cdot dt$$

$$\bar{t} = \frac{\int_0^T \varphi(t) \cdot dt}{P_{\max}} \leq T$$

Doba plných střet  $\bar{t}_2$  [h] -

je to doba, za níž maximální odebraný proud  $I_{\max}$  spíše než ve sledovaném období stejné středy výkonu jeho časově proměnný proud  $I(t)$ , viz obr. 13



obr. 13

$$R \cdot I_{\max}^2 \cdot \bar{t}_2 = \int_0^T R \cdot I^2(t) \cdot dt$$

$$\bar{t}_2 = \frac{\int_0^T R \cdot I^2(t) \cdot dt}{R \cdot I_{\max}^2}$$

## Náročnost $\beta$ -

je měřena poměrem maximálního příjmu k instalovanému příjmu

$$\beta = \frac{P_{\max}}{P_i} \leq 1$$

## Soudobost $\delta$ -

tento koeficient respektuje skutečnost, že maxima různých zařízení nejsou synchronní. Proto výsledné maximum bude menší, než součet maxim jednotlivých zařízení.

$$P_{\max} = \delta \cdot \sum_{k=1}^n P_{k\max} \quad \delta < 1$$

## Roční poměrný přírůstek (leond) $\alpha$ -

je to přírůstek maxima vedou po sobě následujících letech vztahující na konce předchozího roku.

$$\alpha = \frac{P_{\max 2} - P_{\max 1}}{P_{\max 1}}$$

$P_{\max 1}$  - je maximum na konci předchozího roku

$P_{\max 2}$  - je maximum na konci následujícího roku.

Při znalosti průměrného ročního přírůstu  $\alpha$  zjistíme maximum po  $n$  letech:

$$P_{\max n} = P_{\max 1} (1 + \alpha)^{n-1}$$



# Elektrické parametry vedení:

V rovinném zařízení po úsečích průvodičů stacii (přechodných nebo ústředních) je nezbytné znát parametry tohoto zařízení. Uvažujeme čtyři základní parametry které jsou vztahy na 1 km délky vedení a po jedné řadě jsou to:

- 1) Ohmický odpor  $R_1$   $\Omega/\text{km}$
- 2) Průvodičová indukčnost  $L_1$   $\text{H}/\text{km}$
- 3) Průvodičová kapacita  $C_1$   $\text{F}/\text{km}$
- 4) Směr  $G_1$   $\text{S}/\text{km}$

Z těchto základních parametrů získáme další 2. so. odvozené parametry:

- 1) Indukční reaktance  

$$X_1 = \omega L_1 = 2\pi f L_1 \quad [\Omega/\text{km}; 1/\text{s}; \text{H}/\text{km}]$$
- 2) Kapacitní vodivost  

$$B_1 = \omega C_1 = 2\pi f C_1 \quad [\text{S}/\text{km}; 1/\text{s}; \text{F}/\text{km}]$$

Parametry které jsou v podílném směru vedení tvoří komplexní podílnou impedanci

$$\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1 \quad [\Omega/\text{km}]$$

a parametry které jsou napříč vedení udávají komplexní příčnou admittanci

$$\bar{Y}_1 = G_1 + jB_1 \quad [\text{S}/\text{km}]$$

Podélný a příčný parametry určují d. av. vlnovou komplexní impedanci:

$$\bar{Z}_v = \sqrt{\frac{Z_{l_0}}{Y_{g_1}}} \quad [\Omega; \Omega/\text{km}; \text{S}/\text{km}]$$

a d. av. komplexní konstantu přenosu

$$\bar{\gamma} = \sqrt{Z_{l_0} \cdot Y_{g_1}} \quad [1/\text{km}; \Omega/\text{km}; \text{S}/\text{km}]$$

$$\bar{\gamma} = \alpha + j\beta$$

Reálná část přenosové konstanty  $\alpha$  [1/km] nazýváme měrný útlum

imaginární část  $\beta$  [1/km] nazýváme měrný posuv.

Vedení pro přenos energie mohou být buď nenormované nebo kabelová a přenosová sítě podobně vždy se jinými fyzikálními podmínkami a proto buďou i parametry obou vedení rozdílné!

El. parametry nenormovaných vedení:

Nenormovaná vedení se používají v vodičích plného průřezu nebo se používají lanová vodiče buď z jednoho materiálu (Cu, Al, Fe - mělkový) nebo sedmou materiálu (lana Al Fe, Al - je vodivý plášť, Fe - nosná duž). V nenormovaných vedení 220, 400 kV a výše se používají d. av. násobné vodiče.

## Činný odpor.

Pro určitý činného odporu uvazujeme rovnomerné  
 rozdelení proudu v celém průřezu. Takle pak rozptylujeme  
 řádu další veličiny jako na př.: teplotu, skinefekt (na proudu)  
 nerovnoměrnost průřezu, vliv spojky, materiál vodiče.  
 Při průředu stejnoměrného proudu platí pro činný odpor:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad \left[ \Omega; \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{km}}; \text{km}; \text{mm}^2 \right]$$

a vztáheno na 1 km vedeme:

$$\bullet R_1 = \frac{\rho}{S} \quad \left[ \Omega/\text{km}; \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{km}}; \text{mm}^2 \right]$$

kde  $\rho$  je měrný odpor vodiče při teplotě  $t = 20^\circ\text{C}$   
 $S$  je průřez vodiče.

Měrné odpory pro obvyklé používané materiály při  $20^\circ\text{C}$ :

$$\text{Cu} \quad \rho = 0,01784 \quad \left[ \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \right]$$

$$\bullet \text{Al} \quad \rho = 0,0287 \quad \left[ \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \right]$$

$$\text{Fe} \quad \rho = 0,130 \quad \left[ \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \right]$$

Hliník má malou pevnost, proto používáme lince AlFe.  
 Typy AlFe3; AlFe4; AlFe6 - u linců předpokládáme, že  
 ude pouze hliník.

Pro vodiče existují normativní řada průřezů:

0,5; 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120;  
 150; 185; 240; 240; 300; 350; 400; 500  $\text{mm}^2$ .

U lanových vodičů se mění 1. zov. matematický průřez  
Sm. je to součet matematických průřezů všech drátů, které  
souvázejí.

matematický průřez drátu se mění s jmenovitého průměru  
drátu.

Závislost odporu na teplotě:

$$R_t = R_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

$\alpha$  - teplotní koeficient odporu [ $1/^\circ C$ ]

$R_{20}$  - odpor při teplotě okolí  $20^\circ C$ . [ $\Omega$ ]

teplotní koeficient pro  
některé materiály:

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$T_2$  - nová teplota [ $^\circ C$ ]

$T_1$  - počáteční teplota [ $^\circ C$ ]

$Cu - \alpha = 0,00417$  [ $1/^\circ C$ ]

$Al - \alpha = 0,00387$  [ $1/^\circ C$ ]

$Fe - \alpha = 0,0048$  [ $1/^\circ C$ ]

Závislost odporu na kmitočtu:

$$R' = k \cdot R$$

$k$  --- je koeficient související s tzv. skin efektem

Hodnota činitele  $k$  je:

a) pro nemagnetický materiál

$$k = 1 + 7,5 f^2 \cdot d^4 \cdot 10^{-7}$$

$f$  - je kmitočet  
 $d$  -  $\phi$  vodiče

b) pro magnetický materiál

$$k = 1 + \frac{1}{12} \left[ \frac{m}{2} \right]^4 - \frac{1}{180} \left[ \frac{m}{2} \right]^8 + \dots$$

$$m = 2\pi r \sqrt{\frac{\epsilon F \mu_r}{\rho \cdot 10^9}}$$

$\rho$  - měrný odpor  
 $\mu_r$  - rel. permeabilita  
 $r$  - poloměr vodiče.

neasmeme-li počítat s účinky skruzi pro k tj.  $[1 + \frac{1}{12} (\frac{m}{\lambda})^4]$   
 a položíme  $\mu_r = 1$  tj. neferomagnetický materiál dostaneme  
 vztah

$$k = 1 + 7,5 f^2 d^4 \cdot 10^{-7}$$

V souvislosti s odporem vodiče je zajímavý i  
 odpor ZEME, při jejím použití jako vodiče.

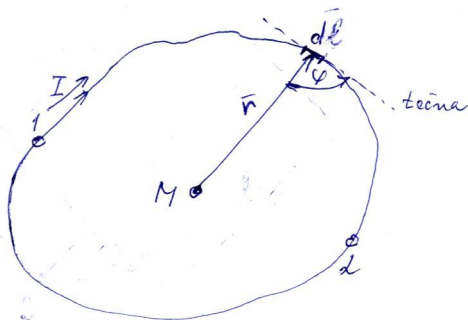
Ude odpor ZEME měřiví prakticky na měrném odporu  
 země. Pokud se totiž při měření měrnému odporu  
 respektive na nitro pevně.

$$R_z = \pi \cdot f \cdot 10^{-4} [\Omega/\text{km}]$$

pro  $f = 50 \text{ Hz}$  bude  $R_z = 0,05 [\Omega/\text{km}]$

# Indukčnost.

Pro určení indukčnosti potřebujeme znát celkový mag. tok  $\Phi$  vyvolaný proudem  $I$  protékajícím vodičem. Vybereme si představy nehomogenně dlouhého vodiče liniovitého který je sám v prostoru (homogenním). Silové mag. pole dlouhého vodiče jsou kuželnice jejížá řeziny jsou kolmé



70 219

430 - 10^6

obr. 1

na geometrickou osu vodiče, která je současně i geometr. osou jejich štěrhu.

V praxi je nutné uvažovat lineární vodiče končné délky. Ten si představíme jeho směr protékajícím proudem  $I$ . Intenzitu magnetického pole v libovolném bodě na ň. Můžeme použít Biot-Savartova zákonu pro element  $dl$  protékající proudem  $I$ :

$$d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \frac{I [\vec{r} \times d\vec{l}]}{r^3} = \frac{1}{4\pi} \frac{I \cdot r \cdot dl \cdot \sin\varphi}{r^3} =$$

$$dH = \frac{I \cdot \sin\varphi \cdot dl}{4\pi \cdot r^2}$$

Výsledná intenzita magnetického pole v ločti M  
vytvorená elon smyčkom bude:

$$H = \oint \frac{I \cdot \sin\varphi}{4\pi r^2} dl$$

Beďstavíme - li si smyčku rozdĺkou lude 1, 2 na  
dvi časti lude

$$H = \int_1^2 \frac{I \cdot \sin\varphi}{4\pi r^2} dl + \int_2^1 \frac{I \cdot \sin\varphi}{4\pi r^2} dl = H' + H''$$

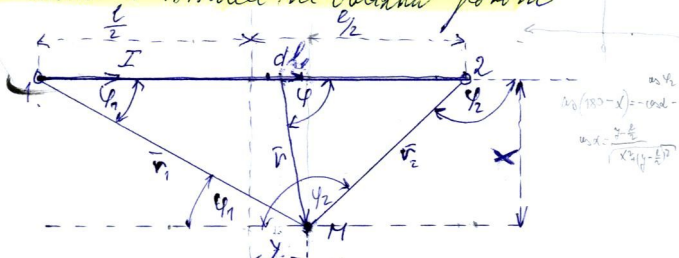
Pláška  $H' = \int_1^2 \frac{I \cdot \sin\varphi}{4\pi r^2} dl$  je intenzita magnetického pole  
vytvorená vodičom  $I$  k postehným proucom  $I$ .

Beďstavíme si čisti teoreticky, že tento vodič je  
přímky a malá se sím v proudu. Potom magnetické  
silové jpu kružnice v rovnech kolmých na jpu  
om, která je sřoven geometrickým místem jejich středů.  
V uvažovaném ločti M bude tedy intenzita magnetického

pole

$$H = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{I \cdot \sin\varphi}{4\pi r^2} dl$$

Intenzita magnetického pole v situaci na obrázku potom



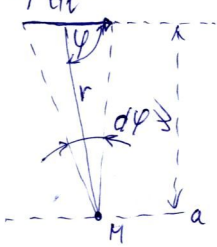
$$\sin(\pi - \alpha) = \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + \frac{l^2}{4}}}$$

intenzita magnetického pole v mieste M zprísloona vodičom od dĺžky l bude:

$$H = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{I \sin \varphi}{4\pi r^2} dl$$

z rovnosti oblouku ospaných privedicím polyne z obr. 3 podľa sinovej vety:



$$\frac{dl}{\sin \varphi} = \frac{r}{\sin \varphi}$$

$$dl \cdot \sin \varphi = r \cdot \sin \varphi$$

$$\text{keď } d\varphi \rightarrow 0 \text{ tak } r \sin \varphi = dl$$

tedy

$$dl \cdot \sin \varphi = r \cdot d\varphi$$

sinová veta:

$$a : b : c = \sin \alpha : \sin \beta : \sin \gamma$$

$$\sin \varphi = \frac{x}{r} \Rightarrow r = \frac{x}{\sin \varphi}$$



Potom lze psát

$$H = \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{I \sin \varphi}{4\pi r^2} dl = \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \frac{I \sin \varphi d\varphi}{4\pi x} = \frac{I}{4\pi x} \int \sin \varphi d\varphi =$$

$$= \frac{I}{4\pi x} [-\cos \varphi]_{\varphi_1}^{\varphi_2} = \frac{I}{4\pi x} (\cos \varphi_2 + \cos \varphi_1) = \frac{I}{4\pi x} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

Magnetoche' indukce v lodi M potom bude:

$$B = \mu_0 \mu_r \cdot H$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m]$$

Vlastní indukčnost vodiče

$\mu_r = 1$  pro vzduch.

Tak celkový magnetický tok  $\Phi$  vyvolaný proudem I ve vodiči bude

$$\Phi = L \cdot I = \Phi' + \Phi''$$

kde tok  $\Phi'$  je t. zv. vnější magnetický tok (vně vodiče) a  $\Phi''$  je t. zv. vnitřní magnetický tok (tok uvnitř vodiče).

Vnější magnetický tok vodiče, vyvolaný proudem I proudem I vodičem o poloměru r bude:

$$\Phi' = \int_{r-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \int B dx dy = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} I \int \frac{dx}{x} \int (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) dy$$

2 obl. 2 lze vyjádřit

$$\cos \varphi_1 = \frac{y + \frac{l}{2}}{\sqrt{x^2 + (y + \frac{l}{2})^2}} ; \cos \varphi_2 = \frac{y - \frac{l}{2}}{\sqrt{x^2 + (y - \frac{l}{2})^2}}$$

a po dosazení do vzorce pro  $\Phi'$  leude:

$$\begin{aligned} \Phi' &= \frac{\mu_0 \mu_n}{4\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \left( \frac{y + \frac{l}{2}}{\sqrt{x^2 + (y + \frac{l}{2})^2}} - \frac{y - \frac{l}{2}}{\sqrt{x^2 + (y - \frac{l}{2})^2}} \right) dy = \\ &= \frac{\mu_0 \mu_n}{4\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dx}{x} \left[ \sqrt{x^2 + (y + \frac{l}{2})^2} - \sqrt{x^2 + (y - \frac{l}{2})^2} \right] = \frac{\mu_0 \mu_n}{4\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{dx}{x} (\sqrt{x^2 + c^2} - x - x + \sqrt{x^2 + c^2}) = \frac{\mu_0 \mu_n}{4\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} 2(\sqrt{x^2 + c^2} - x) \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \frac{\sqrt{x^2 + c^2} - x}{x} dx = \\ &= \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \int_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} \left( \frac{c^2}{x\sqrt{x^2 + c^2}} + \frac{x}{\sqrt{x^2 + c^2}} - 1 \right) dx = \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \left[ c^2 \left( -\frac{1}{l} \ln \frac{\sqrt{x^2 + c^2} + l}{x} \right) + \sqrt{x^2 + c^2} - x \right]_{-\frac{l}{2}}^{+\frac{l}{2}} = \\ &= \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \left[ -\infty + \infty + c^2 \ln \frac{\sqrt{c^2 + c^2} + c}{r} - (\sqrt{c^2 + c^2} + r) \right] \end{aligned}$$

Protože délka vodiče  $l$  mnohem větší než poloměr  $r$  potom pro  $l \gg r \Rightarrow \sqrt{r^2 + c^2} \approx l$

a  $r - l \approx -l$

a tedy

$$\begin{aligned} \Phi' &= \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \left[ c^2 \ln \frac{2l}{r} - l + r \right] = \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \left[ c^2 \ln \frac{2l}{r} - l \right] = \\ &= \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 \right) \\ \Phi &= \frac{\mu_0 \mu_n}{2\pi} I \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 \right) = L' \cdot I \end{aligned}$$

Povrchová hustota proudů  $j$  je rovna  $j = \frac{I}{2\pi r}$   
distance  $r$  je délka vektoru indukčnosti  
modulu vztahem k jeho smyru magnetického  
pole

$$L' = \frac{\mu_0 \mu r}{2\pi} l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 \right)$$

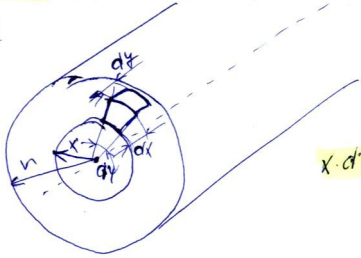
Délka cívky ~~je~~ vektoru indukčnosti  $l$  sm. délka  
indukčnosti  $L'$ , která je vztahena k magnetickému  
pole vnitřní modulu  $H$  a energetické úvahy.  
Energie magnetického pole vnitřní modulu je rovna

$$A = \frac{1}{2} \int_V B \cdot H dV$$

$dV$  - je objemový element modulu

$V$  - celkový objem modulu.

Stanovíme objemový element  $dV$  modulu ve vodorovném  
směrném pohledu k ose modulu. Potom pole  
obrázku



$x \cdot d\phi$  - obsah úseku  
přímky  $x$

obráz. 4

$$dV = x \cdot dx \cdot dy \cdot dY$$

a energie magnetického pole rovnice podobně

$$A = \frac{\mu_0 \mu_r}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \int_0^l H^2 x dx dy dY$$

Předpokládáme ss proud nebo proud, kdy lze zanedbat skin efekt. Potom je proud stejnoměrně rozložen po celém průřezu a potom pro intenzitu magnetického pole ve poloměru  $x$  platí vztah

$$2\pi x H_x = \frac{I}{\pi r^2} \cdot \pi x^2$$

$$\text{ROT } \vec{H} = \vec{J}$$

$$\oint \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int \vec{J} \cdot d\vec{V}$$

$$H_x = \frac{x}{2\pi r^2} I$$

po dosazení do výrazu pro  $A$

$$A = \frac{\mu_0 \mu_r}{2} \int_0^r \int_0^{2\pi} \int_0^l \left( \frac{x}{2\pi r^2} \right)^2 \cdot I^2 \cdot x dx dy dY = \frac{\mu_0 \mu_r}{2} \int_0^r \frac{x^2}{4\pi^2 r^4} \cdot I^2 \cdot l \cdot 2\pi \cdot x dx$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi r^4} I^2 \cdot l \int_0^r x^3 dx = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi r^4} I^2 \cdot l \left[ \frac{x^4}{4} \right]_0^r = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi r^4} I^2 \cdot l \cdot \frac{r^4}{4} =$$

$$= \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \cdot I^2 \cdot \frac{l}{4}$$

dosadíme

$$A = \frac{\mu_0 \mu_r}{4\pi} \cdot I^2 \cdot \frac{l}{4} = \frac{1}{2} L'' \cdot I^2$$

a porovnáním dostaneme vztah pro definiční indukčnost

$$L'' = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{l}{4}$$

Potom tedy celková úloha indukčnosti jedného lineárního vodiče délky  $l$ , který se nachází sám ve prostoru bude:

$$L = L' + L'' = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 \right) + \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot \frac{l}{4}$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 1 + \frac{1}{4} \right)$$

$$L = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 0,75 \right)$$

Dosaďme - li za  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]}$  a  $\mu_r = 1$  bude

$$L = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2\pi} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 0,75 \right) \text{ [H]}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{r} - 0,75 \right) \text{ [H]}$$

větek upovíme na obvyklé jednotky [mH/km] a současně součinně je součin logaritmus se odečte.

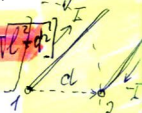
$$\text{Potom } L = 0,2 \cdot 2,3 \log \frac{2l}{r} - 0,75 \cdot 0,2$$

$$L = 0,46 \log \frac{2l}{r} - 0,15 \text{ [mH/km]}$$

## Vzájemná indukčnost

7 14

Vzájemná indukčnost dvou obvodů závisí na společném magnetickém toku  $\Phi_s$  obou obvodů. Předpokládáme, že máme v daném prostoru dvě jímce lineární vodiče o stejném poloměru  $r$  a stejné délce  $l$  a vodičem 1 protéká proud  $I$ . Obě vodiče jsou rovnoběžné ve vzájemné vzdálenosti  $d$ . Potom koeficient vzájemné indukčnosti mezi oběma vodiči je podmíněn společnou částí vnějšího magnetického pole  $\Phi'$  vodiče 1.

$$\Phi' = \int_{d-\frac{l}{2}}^{d+\frac{l}{2}} B dx dy = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} I l \ln \frac{\sqrt{d^2 + l^2} + l}{d} + d - \left[ \sqrt{d^2 + l^2} - l \right]$$


a opět předpokládáme, že délka  $l$  mnohem větší než vzdálenost vodičů  $d$ ,  $l \gg d$ , což je u nás splněno. Potom platí, že  $\sqrt{d^2 + l^2} \approx l$ ;  $d - l \approx -l$

a tedy

$$\Phi' = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} I \cdot l \left( \ln \frac{2l}{d} - 1 \right) = M \cdot I$$

Porovnáním dostaneme vztah pro vzájemnou indukčnost

$$M = \frac{\mu_0 \mu_r}{2\pi} \cdot l \left( \ln \frac{2l}{d} - 1 \right)$$

dosadíme za  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [H/m] = 0,4\pi [mH/km]$ ;  $l = 1 km$

$$M = \frac{0,4\pi}{2\pi} \left( \ln \frac{2l}{d} - 1 \right) = 0,2 \ln \frac{2l}{d} - 0,2 [mH/km]$$

a po úpravě

$$M = 0,46 \log \frac{2l}{d} - 0,2 \quad [mH/km]$$

### Indukčnost neukončených vedení.

známe-li postup pro učetí vlnění a vzájemné indukčnosti po jedné vodiči v prostoru, můžeme potom spočítat na základě indukčního zákona výslednou indukčnost v libovolném vícevodičovém uspořádání. V tomto případě

celkové (síťové) - platí pro n-fázový systém nebo trojfázový systém jed nesymetrickém sestavení

provozní - platí pro dvouvodičový systém (smyčkový) a pro třívodičový systém je souměrným sestavením.

V dalším předpokládáme:

- napětí soustavy napětí je symetrická
- vedení je jednovodičové, trojfázové a je obecně uspořádané.

Jako úvod odvodíme <sup>provozní</sup> indukčnost dvouvodičového vedení a indukčnost trojfázového vedení.

Předpokládáme-li daným vedením střídaný proud  $i$

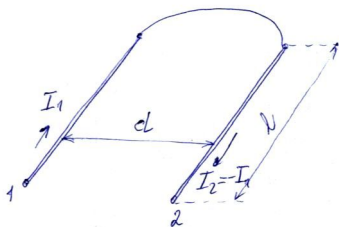
$$i = I \sin \omega t$$

indukují se v každém z vodičů (reaktanční napětí) elektromotorické síly od vlnění indukčnosti  $L$ , podle obr. 6

$$e_{p1} = -L \frac{di}{dt}$$

neboli

$$E_{p2} = -j\omega L_n I$$



obr. 6.

a od vzájemné indukčnosti

$$e_{P_H} = -M \frac{d(-i)}{dt} \quad E_{P_H} = -j\omega M(I) = j\omega M I$$

(reaktivní napětí)

a tedy výsledná elektromotrice síla pro jeden vodič bude:

$$E_P = E_{P_L} + E_{P_H} = -j\omega L_n I + j\omega M I = -j\omega L_p I = -j\omega(L - M) I$$

a tedy po dosazení za  $L$  a  $M$

$$L_p = L_n - M = 0,46 \log \frac{2l}{r} - 0,15 - 0,46 \log \frac{l}{d} + 0,2 =$$

$$L_p = 0,46 \log \frac{d}{r} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

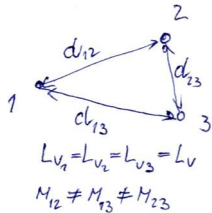
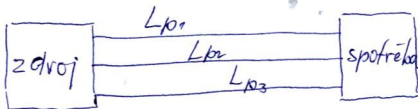
Tuto výslednou indukčnost označujeme jako průvazní  $L_p$ .

Jednovodičové stejnosměrné vedení:

Dopadujeme, že napájecí soustava napětí je symetrická. Třífázové vedení je jednovodičové, vodiče jsou uspořádány v obecném trojúhelníku. Soustava proudů se vedení bude souměrná - představíme symetrický odleh.



Situaei midine na obr. 7



$$U_2 = a^2 U_1$$

$$U_3 = a U_1$$

$$I_2 = a^2 I_1$$

$$I_3 = a I_1$$

$$a = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad a^2 = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad a + a^2 + a^3 = 0$$

$$a + a^2 = -1$$

obr. 7

S použitím výsledků pro duomodulární vedení, platí vztahy pro jednodušší reálnější napětí.

$$E_{1p} = E_{1v} + E_{12M} + E_{13M}$$

$$-j\omega L_{p1} \cdot I_1 = -j\omega L_{v1} I_1 - j\omega M_{12} a^2 I_1 - j\omega M_{13} a I_1$$

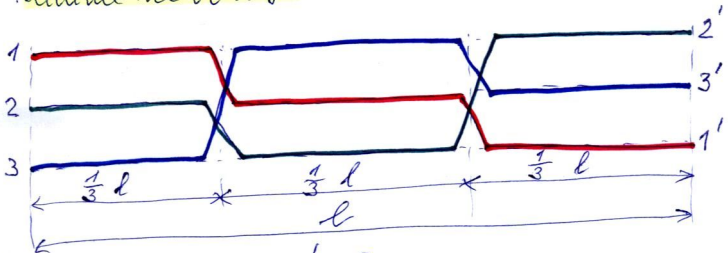
Početbě pro moditě 2 a 3  
 i těchto rovnic pro patičné úroveň dostaneme vztahy platné pro dvojný trojfázový systém.

$$L_{p1} = L_{v1} + a^2 M_{12} + a M_{13}$$

$$L_{p2} = L_{v2} + a M_{21} + a^2 M_{23}$$

$$L_{p3} = L_{v3} + a^2 M_{31} + a M_{32}$$

Vidíme, že provozní indukčnosti jednotlivých fází jsou různé. To by se obouhých vedem' v m při zatčení symetrickou sítě vyvolalo nerovnoměrnosti napětí v každé fázi jiné (nestojné). Tedy i při souměrném zatčení by vznikla napětová nesymetrie. Vedem' proto umístíme symetrisujeme. Tého docílíme křížením vodičů činná získáme transponce vedem'. Transponci vidíme na obr. 8.



obr. 8.

Transponce fázových vodičů je rybným vliv rozdílných elektromagnetických vrbek fázové vedem' se chová z hlediska uspořádání jeho symetrické t. j. uspořádání v rovnostavném trojúhelníku.

Protože platí:

$$M_{12} = M_{21}; \quad M_{13} = M_{31}; \quad M_{23} = M_{32}$$

$$L_{ve1} = L_{ve2} = L_{ve3} \quad \dots \text{pro stejný poloměr vodičů.}$$

hude indukčnost každé fáze u transponovaného vedem'

$$L_p = \frac{1}{3}(L_{p1} + L_{p2} + L_{p3}) = \frac{1}{3}[3L_{ve} + (a+a^2)M_{12} + (a+a^2)M_{13} + (a+a^2)M_{23}]$$

$$L_p = L_{nl} - \frac{1}{3} (M_{12} + M_{13} + M_{23})$$

Dosaďíme súčinné rotahy pre  $L_{nl}$  a  $M$

$$L_p = 0,46 \log \frac{2l}{r} - 0,15 - \frac{1}{3} (0,46 \log \frac{2l}{d_{12}} - 0,2 + 0,46 \log \frac{2l}{d_{13}} - 0,2 + 0,46 \log \frac{2l}{d_{23}} - 0,2)$$

$$0,05 = -0,15 + \frac{3 \cdot 0,2}{3}$$

$$L_p = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}}{r} + 0,05 \quad [\text{m H/km}]$$

Výraz  $\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} = d_s$  označuje jeho strednú geometrickú vzdialenosť fázových vodičov. Potom

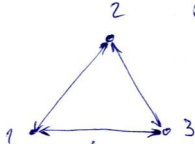
$$L_p = 0,46 \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \quad [\text{m H/km}]$$

Reaktance bude

$$X_p = \omega L_p \cdot 10^{-3} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Účastník príjedy geometrického usporiadania súčinní

a) Rovnostranný trojuholník obr. 9



$$\text{Plato: } d_{12} = d_{13} = d_{23} = d$$

$$M_{12} = M_{13} = M_{23} = M$$

Reakčnými napätiami podľa dĺžky štvoručnice bude:

$$E_p = E_{be} + E_M + E_M = E_{2n} + 2 E_M$$

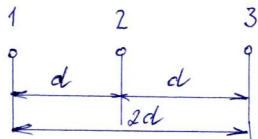
$$-j\omega L_p \cdot I_1 = -j\omega L_{ue} I_1 - j\omega M a^2 I_1 - j\omega M a I_1$$

$$-j\omega L_p I_1 = -j\omega I_1 [L_{ue} + \overbrace{(a^2 + a)M}^{-1}] = -j\omega (L_{ue} - M)$$

$$L_p = L_{ue} - M$$

$$L_p = 0,46 \log \frac{d}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

b) Horizontalná rovina obr. 10 napr. medzi 400 kV  
270 kV  
jednu vodič na fazi.



Po transformácii počítame s  $d_s = \sqrt[3]{d \cdot d \cdot 2d} = d \cdot \sqrt[3]{2}$ ,

potom

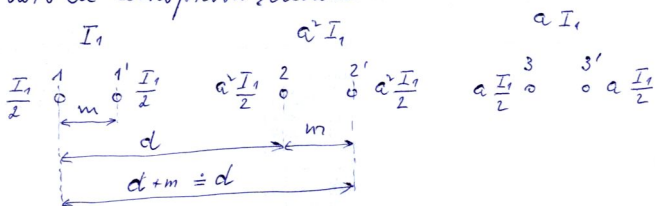
$$L_p = 0,46 \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

$$L_p = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{2} \cdot d}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

Prvozemí indukčnosť sväzového vedenia medzi.

Pro najvyšší jednosmerný napätie je nutné použiť buď dutých vodičov (Slycarrho) alebo sväzových vodičov. Druhotným po technicko sístemi je

malá mířit stěží kekonu a snaha zvýšit  
 přirození schopnosti vedení. U nás však vidíme obr. 11.



obr. 11

Reálnými napětí budou pro vodiče 1:

$$E_{111} = -j\omega L_{11} \frac{I_1}{2}$$

$$E_{12M} = -j\omega 2M_{12} a^2 \frac{I_1}{2}$$

$$\text{zde } M_{12} \doteq M_{21}$$

$$E_{11M} = -j\omega M_{11'} \frac{I_1}{2}$$

$$E_{13M} = -j\omega 2M_{13} a \frac{I_1}{2}$$

$$M_{13} \doteq M_{31}$$

protože  $d+m \doteq d$

$$E_{1p} = E_{1L_{11}} + E_{11M} + E_{12M} + E_{13M}$$

$$-j\omega L_{p1} \frac{I_1}{2} = -j\omega L_{11} \frac{I_1}{2} - j\omega M_{11'} \frac{I_1}{2} - j\omega 2M_{12} a^2 \frac{I_1}{2} - j\omega 2M_{13} a \frac{I_1}{2}$$

$$L_{p1} = L_{11} + M_{11'} + a^2 2M_{12} + a 2M_{13}$$

Protože podle předpokladu je vedení symetrické  
 poleh.

$$M_{12} = M_{13} = M_{23} = M$$

Protož

$$L_{p1} = L_{11} + M_{11'} + a^2 2M + a 2M = L_{11} + M_{11'} + (a^2 + a) 2M$$

$$L_{p2} = L_{11} + M_{11'} - 2M$$

$$L_{p_1} = 0,46 \log \frac{2l}{r} - 0,15 + 0,46 \log \frac{2l}{m} - 0,12 -$$

$$- 2 \cdot 0,46 \log \frac{2l}{d_s} + 2 \cdot 0,12$$

$$L_{p_1} = 0,46 \log \frac{2l \cdot 2l}{r \cdot m} - 0,35 - 0,46 \log \frac{2l \cdot 2l}{d_s^2} + 0,4$$

$$L_{p_1} = 0,46 \log \frac{d_s^2}{r \cdot m} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

$$L_{p_1} = 2 \cdot 0,46 \log \frac{d_s}{\sqrt{r \cdot m}} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

To je pravek indukčnost giduho vodiča. Prouzuje ind. masku (dva vodiči paralelni) lude

$$L_{p_{maska}} = \frac{L_{p_1}}{2} = 0,46 \log \frac{d_s}{\sqrt{r \cdot m}} + \frac{0,05}{2} \quad [\text{mH/km}]$$

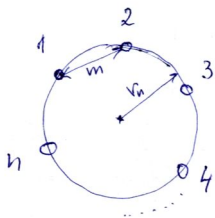
Výraz  $\sqrt{r \cdot m}$  nazveime  $r_n$ , kdy  $r_n = \sqrt{r \cdot m}$  a rozumime jim l. ev. vzdohu polomik masku. Obvni jeo n vodiči ve maske lude

$$r_n = \sqrt[n]{r \cdot m^{n-1}} = r \cdot m^{\frac{n-1}{n}}$$

$$L_{p_{maska}} = 0,46 \log \frac{d_s}{r_n} + \frac{0,05}{n}$$

Poznamka:

maskoví vzdohu l. ev. 25 ÷ 60 cm vodiči jsou uspořádaný do pravidelného n-úhelníka o polomiku  $r_n$  viz obr. 12

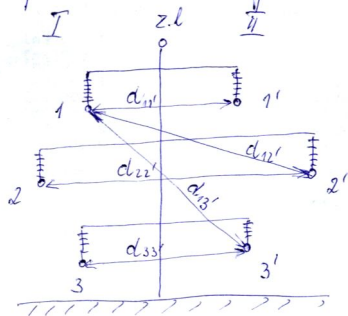


$U$ [kV]	$n$	$m$ [km]
400	3	40
750	4	60
1150	8	
1800	16	

obr. 12

### Indukčnost dvojitých vedení

Předpoklad: vedení je nestranově  
 obě vedení působí stejně výhledově.  
 Uspořádání vedení je vidět na obr. 13



obr. 13

$$I_1 \neq I_1'$$

$$I_2 = a^2 I_1, I_2' = a^2 I_1'$$

$$I_3 = a I_1, I_3' = a I_1'$$

$$E_{L_{11}} = -j\omega L_{11} I_1$$

$$E_{M_{11}'} = -j\omega M_{11}' I_1$$

$$E_{M_{12}} = j\omega M_{12} a^2 I_1$$

$$E_{M_{13}} = -j\omega M_{13} a I_1$$

$$E_{M_{12}'} = -j\omega M_{12}' a^2 I_1$$

$$E_{M_{13}'} = -j\omega M_{13}' a I_1$$

$$\begin{aligned}
 E_{1p} &= E_{L_{ne}} + E_{M_{11'}} + E_{M_{12}} + E_{M_{12}'} + E_{M_{13}} + E_{M_{13}'} = \\
 &= -j\omega I_1 \left[ L_{ne} + M_{11'} + a^2(M_{12} + M_{12}') + a(M_{13} + M_{13}') \right] = \\
 &= L_{ne} + M_{11'} + \left[ \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(M_{12} + M_{12}') + \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)(M_{13} + M_{13}') \right] = \\
 E_{1p} &= -j\omega L_{p_1} I_1 \Rightarrow
 \end{aligned}$$

$$L_{p_1} = L_{ne} + M_{11'} - \frac{1}{2}(M_{12} + M_{12}' + M_{13} + M_{13}') - j\frac{\sqrt{3}}{2}(M_{13} + M_{13}' - M_{12} - M_{12}')$$

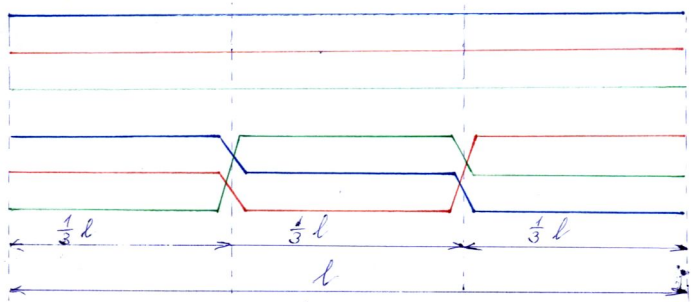
Po dosazení:

$$L_{p_1} = 0,46 \log \frac{\sqrt{d_{12} d_{12}' d_{13} d_{13}'}}{r \cdot d_{11'}} - j\sqrt{3} \cdot 0,46 \log \sqrt{\frac{d_{13} d_{13}'}{d_{12} d_{12}'}} + 0,05 \left[ \frac{mH}{km} \right]$$

Transpozice stejnosměrných dvojitých vedení:

Ve všech uvažovaných případech je vedení posouváno jako paralelní (přímá i stejnosměrný výkon) a setřeseno

- a) vedení I je netransponované
  - vedení II je transponované 3x
- } obr. 14



obr. 14



Určujeme problémy proudu neobdĺiček 2, 3, 1, 2, 3' na vodiči 1.

$$L_{p_1} = L_{ul} + a^2 M_{12} + a M_{13} + \frac{1}{3} (M_{11} + a^2 M_{22} + a M_{13} + a M_{11} + M_{22} + a^2 M_{33} + a^2 M_{11} + a M_{12} + M_{13})$$

$$L_{p_2} = L_{ul} + a^2 M_{12} + a M_{13} + \frac{1}{3} M_{11} (1 + a + a^2) + \frac{1}{3} M_{22} (a^2 + 1 + a) + \frac{1}{3} M_{33} (a + a^2 + 1)$$

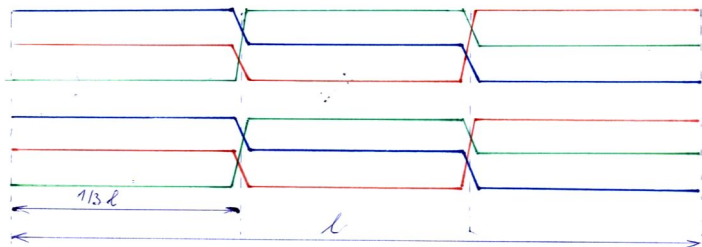
$$L_{p_3} = L_{ul} + a^2 M_{12} + a M_{13}$$

$$L_p = \frac{1}{3} (L_{p_1} + L_{p_2} + L_{p_3})$$

$$L_p = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

úvaha: ulin. vedení II na I je rybným, ale vedení I je netransponované.

b) vedení I a II je transponované 3x viz. obr. 15.



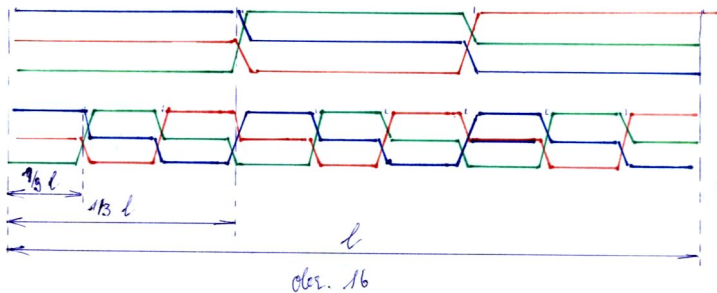
$$L_{p1} = L_{ul} + \frac{1}{3} (a^2 M_{12} + a M_{13} + M_{11}' + a^2 M_{12}' + a M_{13}') + \\ + \frac{1}{3} (a M_{21} + a^2 M_{23} + a M_{21}' + M_{22}' + a^2 M_{23}') + \\ + \frac{1}{3} (a^2 M_{31} + a M_{32} + a^2 M_{31}' + a M_{32}' + M_{33}')$$

$$L_{p1} = L_{ul} + \frac{1}{3} [M_{11} + M_{22} + M_{33} + (a^2 + a)(M_{12} + M_{21}) + (a^2 + a)(M_{13} + M_{31}) + (a^2 + a)(M_{23} + M_{32})]$$

$$L_{p1} = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{11}' \cdot d_{13} \cdot d_{13}' \cdot d_{23} \cdot d_{13}'}}{v \cdot \sqrt[3]{d_{11} \cdot d_{22} \cdot d_{33}}} + 0,05 \quad \left[ \frac{\text{mH}}{\text{km}} \right]$$

Základ: vlivy vedení II na vedení I zůstávají, můžeme přemýšlet pouze jako paralelní!

- c) vedení I transponováno 3 x  
 vedení II transponováno 9 x viz des. 16.



Výpočteme pouze 1/3, ostatní a dle vodičů rovněž stejné.

$$L_{p1} = L_{ul} + \frac{1}{3} (a^2 M_{12} + a M_{13} + a M_{21} + a^2 M_{23} + a^2 M_{31} + a M_{32}) + \\ + \frac{1}{9} (M_{11}' + a^2 M_{12}' + a M_{13}' + a M_{11}'' + M_{22}' + a^2 M_{13}'' + a^2 M_{11}'' + a M_{12}'' + M_{13}'')$$

$$L_{p7} = L_{xc} + \frac{1}{3} a^2 (M_{12} + M_{23} + M_{13}) + \frac{1}{3} a (M_{12} + M_{13} + M_{23}) + \frac{1}{9} (M_{11}' + M_{12}' + M_{13}' + M_{21}' + M_{22}' + M_{23}' + M_{31}' + M_{32}' + M_{33}') (1 + a + a^2)$$

$$d_{13}' = d_{31}' \Rightarrow M_{13}' = M_{31}'$$

$$d_{12}' = d_{21}' \Rightarrow M_{12}' = M_{21}'$$

$$L_{p9} = L_{xc} + \frac{1}{3} (a^2 + a) (M_{12} + M_{13} + M_{23})$$

$$L_{p9} = 0,46 \log \frac{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}}{r} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

Záver: tímto poradením transportu rybného  
 ošiv rozjinného púvolení obom vedení, ale je to  
 veľmi drahé.

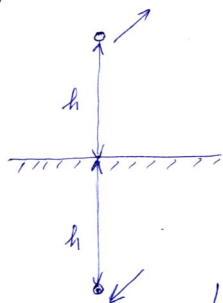
Hodi sa obecní pre púnes súčnyh rybní na dlohi  
 vzdálenosti

### Posledná:

V dvojitých paralelných vedení se hodnota  
 indukčnosti (reaktance) zvýšuje o 5 ÷ 10% oproti  
 jednoduchému vedení.

## Indukčnost vodič - zem

Podle metody Kelvinova srovnání teče spítný proud v hloubce  $h$  zemí podle obr. 17.



obr. 17.

Platí vztahy pro  $L_{\text{vl}}$  a  $M$  odvozené pro smyčku.

$$L_{\text{vl}} = 0,46 \log \frac{1}{r} - 0,15 \quad [\text{mH/km}]$$

$$M = 0,46 \log \frac{1}{2h} - 0,2 \quad [\text{mH/km}]$$

$$L_{\text{v-z}} = L_{\text{vl}} - M = 0,46 \log \frac{2h}{r} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

$$X_{\text{v-z}} = \omega L_{\text{v-z}} \cdot 10^{-3} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Ke skutečnosti tomu tak není. Měření ukázala, že zemní proud se vede v hloubce  $d_z$  (t. zv. zemní vlnová délka), viz obr. 18.

$$d_z = \frac{2,085 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{f \cdot \lambda \cdot 10^{-9}}} \quad [\text{m}]$$

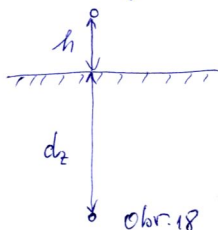
kde  $\lambda$  je měrná vodivost země  $[\text{1}/\Omega \cdot \text{cm}]$

pro různé vodivosti  $\lambda$  bude  $d_z$ :

$$\lambda = 10^{-4}; f = 50 \text{ Hz} \rightarrow d_z = 935 \text{ m} \approx 1000 \text{ m}$$

$$\lambda = 10^{-5}; f = 50 \text{ Hz} \rightarrow d_z = 3000 \text{ m}$$

$$\lambda = 10^{-2}; f = 50 \text{ Hz} \rightarrow d_z = 94 \text{ m} \approx 100 \text{ m}$$



obr. 18

potom platí vztah:

$$L_{v-z} = 0,46 \log \frac{d_z + h}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

Protože je  $d_z \gg h$  bude:

$$L_{v-z} = 0,46 \log \frac{d_z}{r} + 0,05 \text{ [mH/km]}$$

**Poznámka:**

Vliv zemního lano na provozní indukčnost

• z.l.

• při souměrném zatížení ploti:

• z

$$\bar{I}_R + \bar{I}_S + I_T = 0$$

• 1

• 3

při nesympetrickém magnetickém  
závěsu s vodičem 1 podle obr. 19

obr. 19

dojde k závěsu, že  $M_{1-z.l.} = 0$

Zemní lano nemá vliv na provozní indukčnost  
při souměrném zatížení.

Zemní lano - během přírodních zářehů blízko  
do fázových vodičů

- snižuje možnost atmosférických  
přepětí. Má d. v. ochranných úhel

$$\alpha = 20 \div 25^\circ$$

Při nesympetrickém zatížení vzniká v z.l. staty.  
Vzhledem k zářehům odzemňovat.

# Kapacita

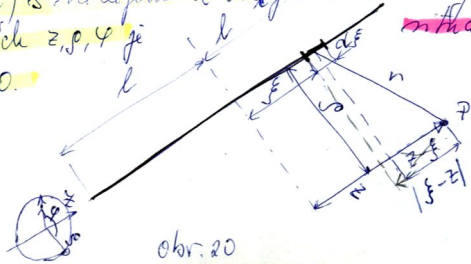
Jakmile se system sklada z vice nez dvou vodiču, veštině semě nelze jich holiv obalhy (na pr. olainy, plast u kabelu) tedy vytrvaji jipedy vodič - zem, dva vodiče z nich jeden obala obklopuje druhý, potom nelze mluvit o jednoduche kapacitě systemu, ale je třeba uvažovat sice dle kapacit jednotlivých vodičů a jeduch mezi vodiči a semě, nebo jinou obalhou.

$$\frac{1}{2} + \frac{11-11}{2} = \frac{1(11+1)}{2}$$

u obecného  $n$ -vodičového systemu existuji  $n$ -dílečků kapacit mezi semě nebo jiné obale a  $\frac{n(n-1)}{2}$  dílečků kapacit mezi jednotlivými vodiči. System  $n$ -párových vodičů má potom celkem  $\frac{n(n+1)}{2}$  dílečků kapacit.

Nálež každého vodiče je vícen napětím proti ostatním vodičům a proti semě respektivě jiné obale a dílečků kapacitami mezi konkrétním vodičem a ostatními vodiči. Např. 8 vodičů společnou obalhu, je možné se obalhu přemáčet sem.

Podobně jako v prostoru násleový vodič sváčí dlouhý potom platí, že nálež na vodiči je rovnoměrně rozložen a vodič pro obalhu následně jeho osou (vodičovou přímkou) s náležim a má jednoduchou dílhy. U násleový vodičů souřadnicích  $z, \rho, \varphi$  je na obr. 20.



obr. 20

Potencial v bode P na površineho valce je vzdálenosti r od každého elementárního množství Q dF k bode

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \int_{-l}^l \frac{Q dF}{r} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \int_0^l \frac{dF}{\sqrt{\rho^2 + (f-z)^2}} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{l-z + \sqrt{\rho^2 + (l-z)^2}}{-z + \sqrt{\rho^2 + z^2}}$$

Pro které podle předpokladu je  $l \gg z$ , nezávislý potenciál U na vzdálenosti z a potom

$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{l + \sqrt{\rho^2 + l^2}}{\rho}$$

a protože je  $l \gg \rho$  je

$$U = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{2l}{\rho} = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \rho + \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln 2l =$$

$$U = -\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \rho + K$$

Zvolíme nyní potenciál vnějšího obloučkového válce o poloměru  $\rho_0$  rovnou nule. Potom bude potenciál vnějšího válce v libovolném místě obloučkového (vnějšího) válce

$$-\frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \rho_0 + K = 0$$

a integrační konstanta K

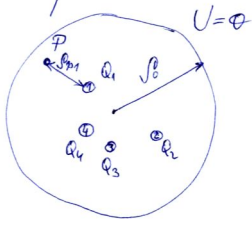
$$K = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \rho_0 \quad U = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho}$$

Přejdeme nyní k systému s vodiči o délkových hustotách náboje  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  a zvolíme obloučkový válce o poloměru  $\rho_0$  mnohem větší než jsou

vzdálenosti mezi vodiči. Stejná obalovací vrstva je umístěn v téže obalce rozmístím vodiči obr. 21  
 Potom pro jednotlivé vodiče musíme počítat vztah odvozený výše pro jeden vodič:

$$U = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r}$$

Výsledný potenciál libovolného bodu P bude roven součtu potenciálů jednotlivých vodičů v tomto bodě:



obr. 21

$$U_P = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{P1}} + \dots = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \sum_{k=1}^n Q_k \ln \frac{r_0}{r_{Pk}}$$

Položíme nyní bod P postupně na jednotlivé vodiče. Získáme potenciály jednotlivých vodičů jako lineární funkce náležejících hustot Q:

$$U_1 = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{P1}} + \dots + \frac{Q_k}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pk}} + \dots + \frac{Q_n}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pn}}$$

$$U_2 = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{P1}} + \dots + \frac{Q_k}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pk}} + \dots + \frac{Q_n}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pn}}$$

$$\dots$$

$$U_n = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{P1}} + \dots + \frac{Q_k}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pk}} + \dots + \frac{Q_n}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{r_0}{r_{Pn}}$$



konduktance asociacií

$$\sigma_{kn} = \frac{1}{24 \cdot \epsilon \cdot \epsilon_r} \ln \frac{S_0}{S_{kn}}$$

a  $\sigma_{kn}$  budeme nazývat potenciálový koeficient. Při tom  $S_{kn}$  asociace rozdělí vodič k od vodiče n.

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \sigma_{11} \cdot Q_1 + \sigma_{12} Q_2 + \dots + \sigma_{1k} Q_k + \dots + \sigma_{1n} Q_n \\
 U_2 &= \sigma_{21} \cdot Q_1 + \sigma_{22} \cdot Q_2 + \dots + \sigma_{2k} Q_k + \dots + \sigma_{2n} Q_n \\
 &\vdots \\
 U_n &= \sigma_{n1} \cdot Q_1 + \sigma_{n2} \cdot Q_2 + \dots + \sigma_{nk} Q_k + \dots + \sigma_{nn} Q_n
 \end{aligned}$$

Využijte svou dřívější napětí a hledáme velikost náboje. Půstom řešením rovnice n soustav

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \gamma_{11} \cdot U_1 + \gamma_{12} \cdot U_2 + \dots + \gamma_{1k} U_k + \dots + \gamma_{1n} U_n \\
 Q_2 &= \gamma_{21} \cdot U_1 + \gamma_{22} \cdot U_2 + \dots + \gamma_{2k} U_k + \dots + \gamma_{2n} U_n \\
 &\vdots \\
 Q_n &= \gamma_{n1} \cdot U_1 + \gamma_{n2} \cdot U_2 + \dots + \gamma_{nk} U_k + \dots + \gamma_{nn} U_n
 \end{aligned}$$

průměrná součinnosti platí  $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n + Q_0 = 0$  čili dle toho má náboj  $Q_0 = -Q_1 - Q_2 - \dots - Q_n$

Podobně-li  $U_2 = U_3 = \dots = U_n = 0$ , neboli spojíme vodiče 2, 3, ..., n s obálkou, dostaneme

$$Q_1 = \gamma_{11} \cdot U_1 \Rightarrow \gamma_{11} = \frac{Q_1}{U_1}$$

podobněi podobně pro vodiče 2, 3, ..., n.

$$U_2 = \gamma_{22} \cdot U_2, \dots, U_n = \gamma_{nn} \cdot U_n$$

Obecně tedy lze upravit na

$$J_{nn} = \frac{Q_n}{U_n}$$

Je tedy  $J_{nn}$  <sup>elektrostatickou</sup> kapacitou vodiče  $n$  na jednotku délky.

Koeficienty se stejnými indexy  $J_{11}, J_{22}, \dots$  jsou vždy kladné. Koeficienty s rostoucími indexy  $J_{12}, J_{21}, J_{13}, \dots$  jsou vždy záporné, jsou to koef. elektrostat. indukce obou vodičů k na vodiči  $n$ . Pokud uvažujeme pouze abs. hodnoty, pak jsou větší než kapacita vodiče  $k-n$ .  
 Zavedeme-li místo potenciálů napětí, mají vodiče  $a$  musí dle toho (tedy rozdíly potenciálů), dostaneme soustavu

$$Q_1 = C_{10} U_1 + C_{12} (U_1 - U_2) + \dots + C_{1k} (U_1 - U_k) + \dots + C_{1n} (U_1 - U_n)$$

$$Q_2 = C_{20} U_2 + C_{21} (U_2 - U_1) + \dots + C_{2k} (U_2 - U_k) + \dots + C_{2n} (U_2 - U_n)$$

$$\vdots$$

$$Q_n = C_{n0} U_n + C_{n1} (U_n - U_1) + \dots + C_{nk} (U_n - U_k) + \dots + C_{nn} (U_n - U_{n-1})$$

Počítáním s přidáním soustav zjistíme

$$C_{11} = C_{10} + C_{12} + \dots + C_{1k} + \dots + C_{1n}$$

$$C_{12} = -J_{12}; \dots; C_{1n} = -J_{1n}$$

atd. Potom platí že  $C_{10} = J_{11} + J_{12} + \dots + J_{1k} + \dots + J_{1n}$ ;  $C_{12} = -J_{12}$ ;  $\dots$ ;  $C_{1n} = -J_{1n}$

Všimneme si koeficientů jsou nyní kladné.

Sejdeme a  $n$  vodičového systému na systému 3 vodičový  
 lince

$$Q_1 = C_{10} U_1 + C_{12} (U_1 - U_2) + C_{13} (U_1 - U_3)$$

$$Q_2 = C_{20} U_2 + C_{21} (U_2 - U_1) + C_{23} (U_2 - U_3)$$

$$Q_3 = C_{30} U_3 + C_{31} (U_3 - U_1) + C_{32} (U_3 - U_2)$$

Položíme-li  $U_1 = U_2 = U_3$

čili  $U_1 - U_2 = 0$ ;  $U_1 - U_3 = 0$

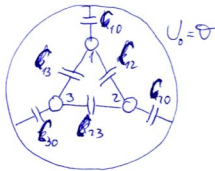
dostaneme pro nodici 1

$$Q_1 = C_{10} \cdot U_1$$

a obdobně pro nodici 2 a 3.

$C_{10}, C_{20}, C_{30}$  jsou dílčí kapacity nodicí 1, 2, 3 k desce

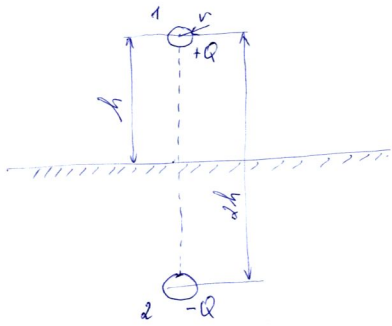
a  $C_{12}, C_{13}, C_{23}$  jsou dílčí kapacity nodicí mezi sebou viz obr. 22



obr. 22.

Po uvažování nadšením uvedených platí, že nodici jsou rovnoběžné vzájemně i se zemí. Porokem semí pohleděme se nodicí a jeho potenciál má být nulový. Ne vzděl od vyřídí uvedeného předpokladu a sitnování oblačného vošce nenúže se sem úvažovat jeho potřebný obalový vošce potné je velmi oblíká nodicím a její stíd (jako vošce) je v nehomogéním, ale podle předpokladu stíd oblačného vošce má být v těžišti rozložení (obalové) nodicí. Aby byl pruh semí nulový lze tento požadavek splnit principem středemí Kelvina. V elektřině by máme, že pole mezi nodicím a zemí se zmenší, myslíme-li si je vytvořené dvěma paralelními nodicí a nichž jeden má dlehom hustotu náboje  $+Q$  a druhý, který je středemí je obalovým pruhem vošce k zemí má dlehom hustotu náboje  $-Q$ .

Pro demonstraci principu předpokládáme jednovodičový vedení  
ne vyjít k sud semí a sem je voličem vzdáleným podle obr. 23



obr. 23

Pro metodu obrazem předpokládáme, že sem je odstaveno (nem) a  
k vodiči 1 existují vodiči 2 (který tam ne skutečnosti není).  
který je obrazem vzhledem k semí a má opačný náboj. Skutečné pole je <sup>vodič vsd semí</sup> ~~je~~ ~~po~~ ~~pot~~ ~~středem~~ ~~symetrické~~  
potenciálem skutečného a myšleného vodiče, zatímco ne  
spodní částí pole není.

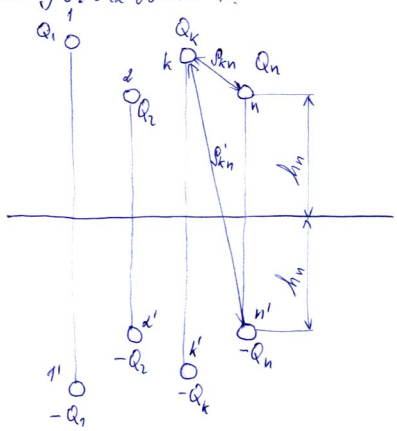
dosadíme do vztahu: 
$$\epsilon_{mn} = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho_{mn}}$$

za poloměry  $\rho_{11}; \rho_{22}$  dosadíme poloměr vodiče  $r$  a za vzdálenost  
vzdálenost  $\rho_{12}$  vzdálenost  $2h$  a  $\epsilon_r = 1$  (vzduch). Potom po potenciál  
distananci

$$U_1 = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \cdot 1} \ln \frac{\rho_0}{r} - \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \cdot 1} \ln \frac{\rho_0}{2h} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \cdot 1} \ln \frac{2h}{r}$$

$$U_1 = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \cdot 1} \ln \frac{2h}{r}$$

Metodu zrcadlení lze použít po víceúčinném systému.  
 Soustavou skutečných vodičů a soustavou zrcadlových vodičů  
 potom považujeme jako jeden systém vodičů uložený v desce  
 o velkém poloměru  $\rho_0$  viz obr. 24.



obr. 24.

z jeho v předchozím případě dosazením do vztahu pro  
 potenciální koeficienty dostaneme pro vodič 1:

$$U_1 = \frac{Q_1}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{r_1} + \frac{Q_2}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho_{12}} + \dots + \frac{Q_n}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho_{1n}} -$$

$$- \frac{Q_1}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{2h_1} - \frac{Q_2}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho'_{12}} - \dots - \frac{Q_n}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho_0}{\rho'_{1n}}$$

Upravení získáme:

$$U_1 = \frac{Q_1}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{2h_1}{r_1} + \frac{Q_2}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho'_{12}}{\rho_{12}} + \dots + \frac{Q_n}{24\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{\rho'_{1n}}{\rho_{1n}}$$

Obdobným postupem získáme podobné vztahy i pro ostatní  
 vodiče.

Potom minimálne náklady po potenciálnej koeficienty  
se stávajú indexy...

$$\gamma_{nn} = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{2h_n}{r_n}$$

a s menšími indexy:

$$\gamma_{kn} = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{\beta_{kn}}{\beta_{kn}}$$

a pomocou týchto koeficientu je možné získať  
jednotlivé dĺžky i pomocou kapacity libovolného  
usporiadání.

Vo väčšom prípade konkrétneho systému upravíme  
získané potenciálne koeficienty.

Za rovnice označíme K, nekterým koef. 2,3 plyne z rovnice ln na log.

$$K = \frac{1 \cdot 2,3}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{2,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 1} \left[ \frac{m}{F} \right] ; \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{F}{km} \right] = 8,85 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{\mu F}{km} \right] = 8,85 \cdot 10^{-3} \left[ \frac{\mu F}{km} \right]$$

pre raduach  $\epsilon_r = 1$  ľuďe po pínodu na dĺžku 1 km a zminí  
označíme raduach  $\epsilon_r$  raduach 2,3 na d

$$K = \frac{2,3}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-3}} = 41,4 \left[ \frac{km}{\mu F} \right]$$

alebo  $K = 41,4 \cdot 10^6 \left[ \frac{km}{F} \right]$

$$\frac{1}{K} = 0,0242 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{F}{km} \right]$$

Dožadíme K do potenciálnych koeficientu a zadané  
nami označíme pomocou nájdeného D miesto  $\gamma$ . Potom  
po potenciálnych koeficienty se stávajú indexy dostaneme:

$$D_{nn} = K \cdot \log \frac{2h_n}{r_n} = 41,440 \log \frac{2h_n}{r_n} \quad [\text{km/F}]$$

a pro koeficienty s různými indexy:

$$D_{kn} = K \cdot \log \frac{d'_{kn}}{d_{kn}} = 41,440 \log \frac{d'_{kn}}{d_{kn}} \quad [\text{km/F}]$$

Trojfázové vedení bez zemního lince (obecně uspořádání):

úhlopříčkové.

$$U_1 = D_{11} Q_1 + D_{12} Q_2 + D_{13} Q_3$$

$$U_2 = D_{21} Q_1 + D_{22} Q_2 + D_{23} Q_3$$

$$U_3 = D_{31} Q_1 + D_{32} Q_2 + D_{33} Q_3$$

Resimim soustav pomocí determinantů

$$Q_1 = \frac{\Delta_{q1}}{\Delta} = \frac{U_1 D_{22} D_{33} + U_2 D_{32} D_{13} + U_3 D_{12} D_{23} - U_3 D_{22} D_{13} - U_1 D_{32} D_{23} - U_2 D_{12} D_{33}}{U_1 (D_{22} D_{33} - D_{32} D_{23}) - U_2 (D_{12} D_{33} + D_{32} D_{13}) + U_3 (D_{12} D_{23} - D_{22} D_{13})}$$

$$Q_1 = \frac{U_1 \Delta_{11} - U_2 \Delta_{21} + U_3 \Delta_{31}}{\Delta} = \frac{\Delta_{q1}}{\Delta}$$

a stejným postupem

$$Q_2 = \frac{-U_1 \Delta_{12} + U_2 \Delta_{22} - U_3 \Delta_{32}}{\Delta} = \frac{\Delta_{q2}}{\Delta}$$

$$Q_3 = \frac{U_1 \Delta_{13} - U_2 \Delta_{23} + U_3 \Delta_{33}}{\Delta} = \frac{\Delta_{q3}}{\Delta}$$

Opět provedeme porovnání s obvyklým stejné soustavy pomocí dělicího koeficient

$$Q_1 = C_{10} U_1 + C_{12} (U_1 - U_2) + C_{13} (U_1 - U_3)$$

$$Q_2 = C_{20} (U_2 - U_1) + C_{20} U_2 + C_{23} (U_2 - U_3)$$

$$Q_3 = C_{30} (U_3 - U_1) + C_{32} (U_3 - U_2) + C_{30} U_3$$

po prvnímí distancie

$$C_{10} + C_{12} + C_{13} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} ; C_{12} = \frac{\Delta_{21}}{\Delta} ; C_{13} = -\frac{\Delta_{31}}{\Delta}$$

a tedy

$$C_{10} = \frac{\Delta_{11} - \Delta_{21} + \Delta_{31}}{\Delta}$$

Podle

$$C_{20} + C_{21} + C_{23} = \frac{\Delta_{22}}{\Delta} ; C_{21} = \frac{\Delta_{12}}{\Delta} ; C_{23} = \frac{\Delta_{32}}{\Delta}$$

a tedy

$$C_{20} = \frac{\Delta_{22} - \Delta_{12} - \Delta_{32}}{\Delta}$$

A podobně

$$C_{30} + C_{32} + C_{31} = \frac{\Delta_{33}}{\Delta} ; C_{31} = \frac{-\Delta_{13}}{\Delta} ; C_{32} = \frac{\Delta_{23}}{\Delta}$$

a tedy

$$C_{30} = \frac{\Delta_{33} + \Delta_{13} - \Delta_{23}}{\Delta}$$

Podobně jako tomu bylo u indukčnosti i zde porovnáme u nehomogenního vedení transpozice, abychom vedení i kapacitě symmetrisovali. U transpozovaného vedení můžeme počítat se středními hodnotami potenciálních koeficientů

$$D = \frac{1}{3}(D_{11}^- + D_{12}^- + D_{30}) \quad D' = \frac{1}{3}(D_{12} + D_{13} + D_{23})$$

Označme

$$h_{str} = \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} \quad - \text{střední výška vodičů nad zemí.}$$

$$r_{str} = \sqrt[3]{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3} \quad - \text{střední poloměr vodičů}$$

$$d'_{str} = \sqrt[3]{d'_{12} \cdot d'_{13} \cdot d'_{23}} \quad - \text{střední vzdálenost vodičů vzájemně a zeped zemí.} \\ \text{Označí vodičů deubifily.}$$



$d_{str} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}$  - střední vzdálenost vodičů skružených.

Potom leude

$D = \frac{1}{3} 41,4 \cdot 10^6 \left( \log \frac{2 h_1}{r_1} + \log \frac{2 h_2}{r_2} + \log \frac{2 h_3}{r_3} \right) = 41,4 \cdot 10^6 \log \frac{2 \cdot \sqrt[3]{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3}}{\sqrt[3]{r_1 \cdot r_2 \cdot r_3}}$

$D = 41,4 \cdot 10^6 \log \frac{2 h_{str}}{r}$

$D' = \frac{1}{3} \cdot 41,4 \cdot 10^6 \left( \log \frac{d'_{12}}{d_{12}} + \log \frac{d'_{13}}{d_{13}} + \log \frac{d'_{23}}{d_{23}} \right) = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{d'_{12} \cdot d'_{13} \cdot d'_{23}}}{\sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}}}$

$D' = 41,4 \cdot 10^6 \log \frac{d'_{str}}{d_{str}} = 41,4 \cdot 10^6 \cdot \log \frac{\sqrt[3]{h_{str}^2 + d_{str}^2}}{d_{str}}$

provdni rovnice pomocí druzene suae

$U_1 = D \cdot Q_1 + D' \cdot Q_2 + D' \cdot Q_3$

$U_2 = D' \cdot Q_1 + D \cdot Q_2 + D' \cdot Q_3$

$U_3 = D' \cdot Q_1 + D' \cdot Q_2 + D \cdot Q_3$

jez lezeni lude:

$Q_1 = \frac{\Delta q_1}{\Delta} ; Q_2 = \frac{\Delta q_2}{\Delta} ; Q_3 = \frac{\Delta q_3}{\Delta}$

peicema ji

$\Delta = (D - D')^2 \cdot (D + 2D')$

$\Delta q_1 = (D^2 - D'^2) \cdot U_1 - D'(D - D') U_2 + D'(D' - D) U_3$

a obdobni pro  $\Delta q_2$  a  $\Delta q_3$

Provedeme opit vyjádreni rovnice pomocí druzene kapacit

$$Q_1 = C_{10} U_1 + C_{12} (U_1 - U_2) + C_{13} (U_1 - U_3) = (C_{10} + C_{12} + C_{13}) U_1 - C_{12} U_2 - C_{13} U_3$$

$$Q_2 = C_{20} U_2 + C_{21} (U_2 - U_1) + C_{23} (U_2 - U_3) = (C_{20} + C_{21} + C_{23}) U_2 - C_{21} U_1 - C_{23} U_3$$

$$Q_3 = C_{30} U_3 + C_{31} (U_3 - U_1) + C_{32} (U_3 - U_2) = (C_{30} + C_{31} + C_{32}) U_3 - C_{31} U_1 - C_{32} U_2$$

čili po úpravě:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= (C_{10} + C_{12} + C_{13}) U_1 && - C_{12} U_2 && - C_{13} U_3 \\
 Q_2 &= && - C_{21} U_1 && + (C_{20} + C_{21} + C_{23}) U_2 && - C_{23} U_3 \\
 Q_3 &= && - C_{31} U_1 && - C_{32} U_2 && + (C_{30} + C_{31} + C_{32}) U_3
 \end{aligned}$$

Poovněnáním rovnice systému hled. a navíc s danými kapacitami dostaneme:

$$\frac{(D+D')}{(D+2D')(D-D')} U_1 - \frac{D'}{(D+2D')(D-D')} U_2 - \frac{D'}{(D+2D')(D-D')} U_3 = (C_{10} + C_{12} + C_{13}) U_1 - C_{12} U_2 - C_{13} U_3$$

a tedy:

$$C_{10} + C_{12} + C_{13} = \frac{D+D'}{(D+2D')(D-D')} ; C_{12} = \frac{D'}{(D+2D')(D-D')} ; C_{13} = \frac{D'}{(D+2D')(D-D')} = C'$$

$$C_{20} = \frac{D+D'}{(D+2D')(D-D')} - \frac{2D'}{(D+2D')(D-D')} = \frac{1}{D+2D'} = C_{20} = C_{30} \text{ (zdeinuda kapacita)}$$

Do kapacitních pletí, se zahrnou potenciály jednotlivých vodičů jsou dány charakteristickými hodnotami  $u_1, u_2, u_3$  každého napětí  $U_1, U_2, U_3$ , je má pletí.

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0$$

charakteristický napětí vodičů } 1 bude

$$Q_1 = C u_1 + C'(u_1 - u_2) + C'(u_1 - u_3) = (C + 2C') u_1 - C'(u_2 + u_3) = (C + 3C') u_1$$

Poovněnáním kapacita je poměrně napětí jeho potenciálu

$$C_p = \frac{g_1}{u_1} = C_0 + 3C'$$

po odobrení sa  $C_0$  a  $C'$  a po úpravách dostaneme:

$$C_p = \frac{1}{D - D'}$$

Pre transformáciu vedemí jónov dostali pro  
potenciálnu konštantu:

$$D = 41,4 \cdot 10^6 \log \frac{d_{str}}{r}$$

$$D' = 41,4 \cdot 10^6 \log \frac{\sqrt{(d_{str})^2 + d_{str}^2}}{d_{str}}$$

pre malé kapacity proti zemí

$$C_0 = \frac{1}{D + 2D'}$$

pre malé kapacity medzi vodičmi

$$C' = \frac{D'}{(D + 2D')(D - D')}$$

pre prázdnú kapacitu vedemí

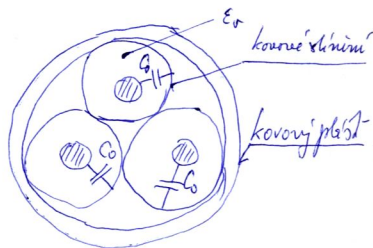
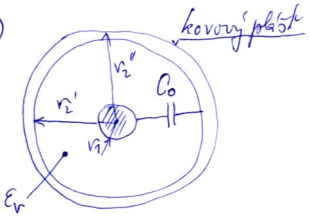
$$C_p = \frac{1}{D - D'}$$

# Kabuly parametry:

## Typy kabelu:

- a) jednovlákní s homojným pláštěm, alebo vícevlákní s kovovým pláštěm pro každý vodič (stínění síly) obr. 25
- b) trojvlákní s homojným pláštěm společným pro všechny tři vodiče (plášťové stínění), obr. 26
- c) celoplastové kabely

ad a)



obr. 25

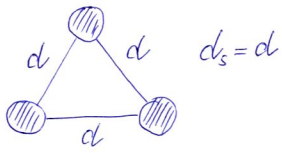
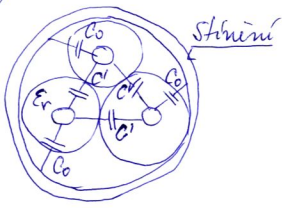
$L_p$  - nebudeme odvozovat, protože se objeví jeho u diametrického rušení.

Lze očekávat, že stínění nemá vliv na parametry indukčnosti

$$C_p = C_0 = \frac{0,0242}{\log \frac{r_2}{r_1}}$$

$$r_2 = \frac{r_1' + r_2''}{2} \text{ - střední poloměr kovového pláště.}$$

a) b)



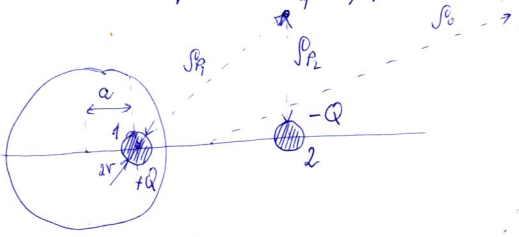
obr. 26

Průmerní indukčnost u trojvláknové kabelu se počítá stejně jako u transportového vedení

$$L_p = 0,46 \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \quad [\text{mH/km}]$$

Pro výpočet průmerní kapacity kabelu nemůžeme použít Kelvinovu metodu obrazem. Zde platí obrazem na valcovou koncovou plochu (nábojová plocha kabelu) podle

obr. 27.



obr. 27

Pro tuto soustavu vodičů 1 a 2 použijeme dvojnásobek odvození vztahy pro kapacitu podle obr. 21. Zde opíšeme vodič s obalovým nábojem  $Q_0$  dostatečně velkým. Můžeme tedy použít odvozených vztahů pro potenciál

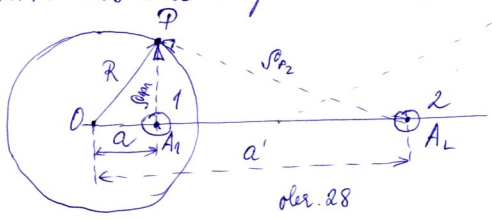
u vodiče  $\varphi$ :

$$\varphi = \frac{1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \sum_{k=1}^n Q_k \cdot \ln \frac{P_0}{P_{0k}}$$

Do bod P platí tedy:

$$U_P = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{\rho_{P_1}}{\rho_{P_2}} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \ln \frac{\rho_{P_1}}{\rho_{P_2}} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{\rho_{P_2}}{\rho_{P_1}}$$

Echvipotenciální plochy ( $U_P = \text{konst}$ ) jsou tedy váleč, které obklopují vodiče 1 a 2 excentricky. Protože ovlivňují (konvoj) plošit má mít konstantní potenciál, znamená to, že musí být echvipotenciální plochou. Zvolme na druhém vodiči nosí bod P podle obr. 28



Z obr. 28 vidíme, že  $\triangle POA_1$  a  $\triangle POA_2$  jsou si podobné protože mají v bodě O společný úhel, společnou stranu R a jsou dále násobným podmínkou, že poměr  $\frac{\rho_{P_2}}{\rho_{P_1}} = \text{konst.}$  protože podle předpokladu má mít konvoj plošit konstantní potenciál. Platí tedy:

$$\frac{A_2 O}{O P} = \frac{O P}{A_1 O} \quad \text{neboli} \quad \frac{a'}{R} = \frac{R}{a}$$

a toho  $a' = \frac{R^2}{a}$

vráceně jsme uviděli vzdálenost středního vodiče - Q  
 Do všechny body rovného plošit (kružnice) platí

$$\frac{A_2 \cdot 0}{A_2 P} = \frac{\frac{R^2}{a}}{\rho_{R2}} \quad \text{a} \quad \frac{P \cdot 0}{A_1 P} = \frac{R}{\rho_{R1}}$$

a pro podobné trojúhelníky platí:

$$\frac{\frac{R^2}{a}}{\rho_{R2}} = \frac{R}{\rho_{R1}} \quad \text{a tedy} \quad \frac{R}{a} = \frac{\rho_{R2}}{\rho_{R1}}$$

Je tedy potenciál koncového pláště konstantní a měřeno

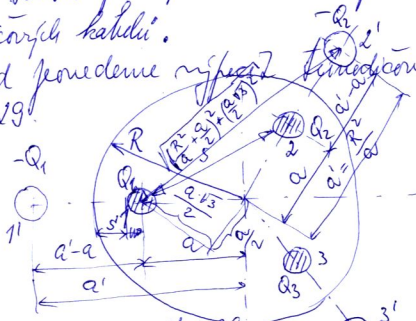
$$U_{pe} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \ln \frac{R}{a}$$

Rozdíl potenciálů velikosti napětí libovolného bodu P vzhledem k rovinnému plášti je:

$$U_p - U_{pe} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \left[ \ln \frac{\rho_{R2}}{\rho_{R1}} - \ln \frac{R}{a} \right]$$

Položíme-li potenciál pláště  $U_{pe}$  rovný nule  $U_{pe} = 0$  a uvažujeme-li bod P na povrchu vodiče, pak je to současně potenciál vodiče  $A_1$ . Potom ovšem je vnitřní pole rovno nule a vnější pláště je dáno potenciálem  $U_p$ . Na základě tohoto postupu můžeme počítat potenciály i více vodičových kabelek.

Jako příklad provedeme výpočet třívodičového kabelu podle obr. 29.



obr. 29

Myslíme bod P položíme na vodič 1. Na potenciál bodu P budou mít vliv všechny náboje a tito tři skuteční  $Q_1, Q_2, Q_3$  a tři zrcadlové  $-Q_1, -Q_2, -Q_3$ .

Potenciál bodu P na vodiči 1 bude od náboje  $\pm Q_1$   $U_{P1}$  podle výše uvedeného vzťahu pro jednovodičový kabel:

$$U_{P1} = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \left( \ln \frac{P_{11}'}{P_{11}} - \ln \frac{R}{a} \right)$$

přičině  $P_{11}' = a' - a = \frac{R^2}{a} - a = R \left( \frac{R}{a} - \frac{a}{R} \right)$

$$P_{11} = r$$

a dále máme:  $P_{12} = P_{13} = a\sqrt{3}$   
 $P_{12}' = P_{13}' = \sqrt{\left(\frac{R^2}{a} + \frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{a\sqrt{3}}{2}\right)^2} = R \sqrt{\frac{R^2}{a^2} + 1 + \frac{a^2}{R^2}}$

Potom bude potenciál vodiče  $U_{P11}$  od náboje  $\pm Q_1$ :

$$U_{P11} = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \left( \ln \frac{R \left( \frac{R}{a} - \frac{a}{R} \right)}{r} - \ln \frac{R}{a} \right) = \frac{Q_1}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{R^2 - a^2}{R \cdot r} = D_{11} \cdot Q_1$$

Podobně bude potenciál vodiče 1 od náboje  $\pm Q_2$ :

$$U_{P12} = \frac{Q_2}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \left[ \ln \frac{R \sqrt{1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2}}}{a\sqrt{3}} - \ln \frac{R}{a} \right] = \frac{Q_2}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r} \ln \frac{\sqrt{1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2}}}{\sqrt{3} \left[ 1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2} \right]} = D_{12} \cdot Q_2$$

a podobně i pro náboj  $\pm Q_3$ :

$$U_{P13} = \frac{Q_3}{2\pi \epsilon_r \epsilon_0} \ln \frac{\sqrt{1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2}}}{\sqrt{3} \left[ 1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2} \right]} = D_{13} \cdot Q_3$$

Celkový potenciál vodiče 1,  $U_{P1}$  bude:

$$U_{P1} = U_{P11} + U_{P12} + U_{P13} = D_{11} \cdot Q_1 + D_{12} \cdot Q_2 + D_{13} \cdot Q_3$$



Přesto všechny tři vodiče jsou v kablu uspořádány souměrně vzhledem k dovnitřnímu plášti, je patrné že potenciály druhých vodičů budou mít stejnou hodnotu. Platí tedy:

$$D_{11} = D_{22} = D_{33} = D ; D_{12} = D_{13} = D_{23} = D'$$

$$D = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \frac{R^2 - a^2}{R \cdot r} ; D' = \frac{1}{2\pi\epsilon_0\epsilon_r} \ln \sqrt{\frac{1}{3} \left( 1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2} \right)}$$

$$D = \frac{41,4 \cdot 10^6}{\epsilon_r} \log \frac{R^2 - a^2}{R \cdot r} \text{ [km/F]} ; D' = \frac{41,4 \cdot 10^6}{\epsilon_r} \log \sqrt{\frac{1}{3} \left( 1 + \frac{R^2}{a^2} + \frac{a^2}{R^2} \right)} \text{ [km/F]}$$

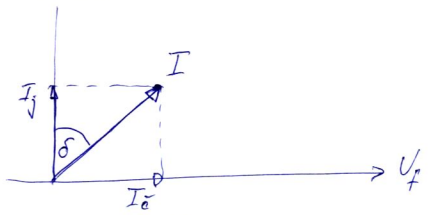
Dále postupujeme jako u neuhomného vedení. Proto dojde ke vzniku po kapacitě:

$$C_p = \frac{1}{D - D'} \text{ [F/km]} ; C_o = \frac{1}{D + 2D'} \text{ [F/km]} ; C' = \frac{1}{3} (C_p - C_o) \text{ [F/km]}$$

$$C' = \frac{1}{(D + 2D')(D - D')}$$

a) kabely celoplošné (vstříknuté) jednotlivé kapacity jsou ovlivněny prostředím (pískem, zemí). Výsledky sice máme měřeni.

Dielektrické straty kabelu obr. 30



obr. 30

Vypočítáme-li kábel na napětí 30 kV, se jím počítá větší proud. Ten je způsoben jednak neoddělností izolace a jednak neoddělností kapacitní permeance podle obr. 30. Pro trojfázovou dielektrickou strukturu můžeme psát:

$$P_d = 3 \cdot U_f \cdot I_0 = 3 U_f \cdot I_j \cdot \operatorname{tg} \delta = 3 \cdot U_f \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_p \cdot \operatorname{tg} \delta = U_s^2 \cdot \omega \cdot C_p \cdot \operatorname{tg} \delta = Q_c \cdot \operatorname{tg} \delta$$

kde  $Q_c$  jsou označeni neuhýbáci výkonové ztráty [VAr/km]

$C_p$  je permeance kapacita kábelu [F/km]

Nabíjecí proud a výkon dovedem:  
v bezpečném stavu

Na obr. 31 je vidět nejjednodušší případ vedení, reprezentovaný  
parametry  $C_p, l$ .



obr. 31

Nabíjecí proud jedné fáze:

$$I_c = U_f \cdot \omega \cdot C_p \cdot l \quad [A; V; \text{rad/sec}; F/\text{km}; \text{km}]$$

Nabíjecí výkon jedné fáze:

$$Q_c = \dots U_f \cdot I_c = U_f \cdot U_f \cdot \omega \cdot C_p \cdot l = U_f^2 \cdot \omega \cdot C_p \cdot l$$

[VA; V; rad/sec; F/km; km]

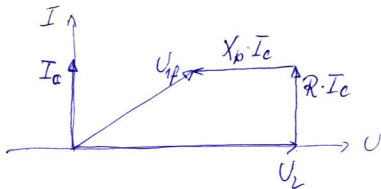
Trojfázový nabíjecí výkon:

$$Q_c = 3 \cdot U_f \cdot I_c = 3 U_f^2 \cdot \omega \cdot C_p \cdot l = U_s^2 \cdot \omega \cdot C_p \cdot l \quad [MVA; kV; \text{rad/sec}; F/\text{km}; \text{km}]$$

Ferantiko jev:

nastává na vedení tehdy je-li přenosný výkon menší než je l. sv. přenosný výkon vedení. V krajním případě je vedení v l. sv. stavu naprázdno  $P_2 = 0$ .

Nežleže lze tento jev omítnout grafickou formou podle obr. 32



obr. 32

je vidit, že  $U_{1p} < U_2$

Nlunová impedence a přilozný výkon vedení:

číslicové parametry vedení:  $R, G, L_p, C_p$

Vstah:  $Z_{nl} = \sqrt{\frac{R + jX_p}{G + jB_p}} \quad [\Omega] ; \quad X_p = \omega L_p ; B_p = \omega C_p$

najednou nlnunová impedence vedení s danými parametry

pro lossless vedení platí:  $R = 0 ; G = 0$

potom nlnunová impedence bude:

$$Z_{nl} = \sqrt{\frac{jX_p}{jB_p}} = \sqrt{\frac{L_p}{C_p}} \quad [\Omega]$$

# Transformátor

①

## Ideální:

Pro ideální transformátor platí následující podmínky (Uvažnosti):

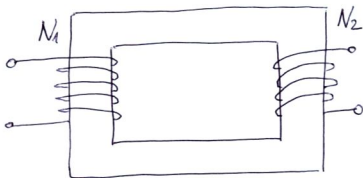
~~odpor~~ vinutí je malý  $R=0$

~~magnetický~~ ~~leakážový~~ ~~tok~~ (tok prochází celý jádrem)

~~permeabilita~~ jádra je tak vysoká, že je potřebný pouze zanedbatelný magnetizační proud pro vytvoření potřebného magnetického toku.

~~hysteresní~~ ~~straty~~ a straty vlivnými proudy jsou nulové.

Princip transformátoru je vidět na obrázku



Po připojení sinusového napětí  $U_1$  na primér se vytvoří ~~magnetický~~ ~~tok~~

$$\Phi_{max} = \frac{U_1}{4,44 f \cdot N_1}$$

Tento tok indukují v primárním vinutí napětí  $E_1$ . Toto napětí bude rovné  $U_1$  s opačným znaménkem. (Podle K. zedlona - z důvodu udržení rovnosti napětí v obvodu.)

Magnetický tok prochází i sekundárním vinutím a vytvoří indukované napětí  $E_2$  a svorkové napětí  $U_2$

$$U_2 = E_2 = 4,44 f \cdot N_2 \cdot \Phi_m$$

Po dozření se  $\Phi_m$  dostane

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} U_1 \quad \text{a} \quad U_1 = \frac{N_1}{N_2} U_2$$

Nyní připojíme na sekundární svorky impedanci  $Z_2$ . Tím se vytvoří sekundární proud  $I_2$

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2}$$

a vzniká magnetomotrice napětí  $N_2 \cdot I_2$  v sekundárním obvodu. Jakmile se objeví magnetomotrice napětí začne ohánět mít primární magnetický tok a tím dochází k porušení rovnosti napětí v primáru. Aby se rovnost udržela, musí v primáru vzniknout kompenzační magnetomotrice napětí a tedy proud  $I_1$  sekury, aby platilo

(3)

$$\underline{N_1 I_1 = N_2 I_2}$$

a z toho

$$\underline{I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2} \quad \text{nebo} \quad \underline{I_2 = \frac{N_1}{N_2} I_1}$$

protože z předchozích rovnic plyne

$$\underline{\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1}} \quad \text{a} \quad \underline{\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}}$$

jak se předpokládá mluvných stěží (ideální tr.)  
platí

$$\underline{U_2 \cdot I_2 = U_1 \cdot I_1}$$

Vysvětlíme nyní, jak se projeví na primární straně  
příjímá impedance  $Z_2$  na straně sekundární.

Výše byly odvozeny vztahy:  $U_1 = \frac{N_1}{N_2} U_2$

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$$

$$Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$$

$$Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$$

Leze tedy psát:

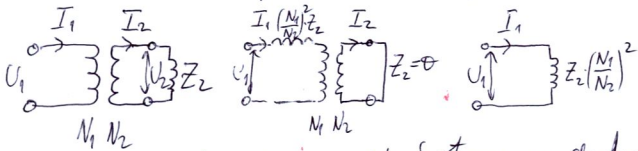
$$\frac{U_1}{I_1} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot \frac{U_2}{I_2}$$

$$\underline{Z_1 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 \cdot Z_2}$$

(7)

Z uvedeného je vidieť, že impedanciu  $Z_2$  na sekundárnej strane, keď nahradíme ekvivalentnou impedanciou  $Z_1$  na strane primárnej.

Prejdeme - li teraz na druhý obvod z obrázku. Vidíme, že aj tu sú tieto obvody ekvivalentné.



Toto je primárna impedancia z pohľadu strany na druhú.

Vidíme, že v ideálnom transformátore sa transformujú:

napätie v primárnom pomere počtu závitov

prúd v inverznom pomere tohoto počtu

impedancie so štvorcovým primárnym pomernom počtu závitov

Prejdeme nyní ke skutočnému transformátoru.

U skutočného transformátora nastávajú odchýlky od ideálneho stavu.

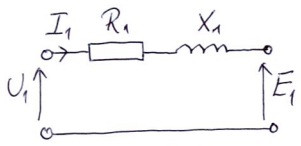
Jeho prvá odchýlka je rozdelenie cirkulujúceho magnetického toku primárnu na dve časti:

tok spájajúci - prechádza i vinitým sekundárnym

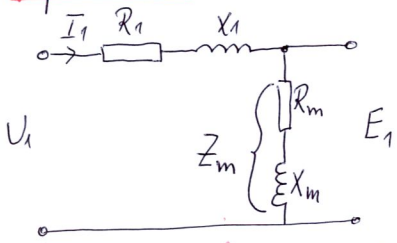
tok rozptyľujúci - prechádza pouze vinitým primárnym a primárni se uzatvára vzduchem.



Oli tyto složky indukují v priméru napětí. Protože cesty reálného toku jsou hlavně vzduchem, je tento tok a tím indukované napětí lineárně závislý na primárním proudu  $I_1$ . V skutečném tr. je dále  $R_1 \neq 0$  Snorkové napětí  $U_1$  na priméru je tedy rovno součtu úbytku napětí na odporu  $R_1$ , úbytku napětí na reálné a indukované napětí  $E_1$



Dále je u skutečného transformátoru nutný proud  $I_e$  pro vytvoření magnetomotorického napětí a na klyži stát v jádře. To je respektováváno připojením budící impedance  $Z_m$

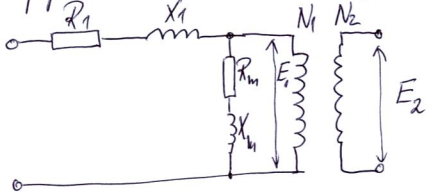


Tato budící impedance se mění se zrychlím, ale má malý vliv na součin s primárním reálnou reaktancí. Součet  $X_1 + X_m$  je rovnou celkové vlastní reaktanci priméru.

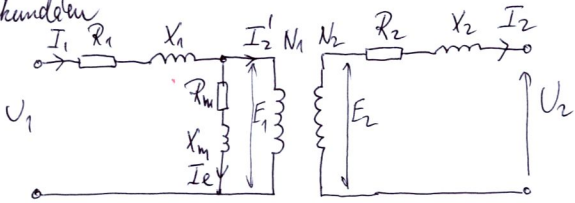
Praximij tok indukuje napeti  $E_2$  v sekundaru.

blati  $\frac{E_2}{E_1} = \frac{N_2}{N_1}$

To ovsem znamenja, se tento efekt lze nahradit pripimim idealnimho transformatoru.



Indukovani napeti  $E_2$  nem' napitim svorkozijn, protoze sekundar ma odpor vinuti  $R_2$  a sekundarni proud  $I_2$  vyvola sekundarni reaktivni tok, ktery seliba pouse se sevity sekundaru



zde  $I_2'$  je steziva slozka primarniho proudu podle vzetku

$I_2' = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$

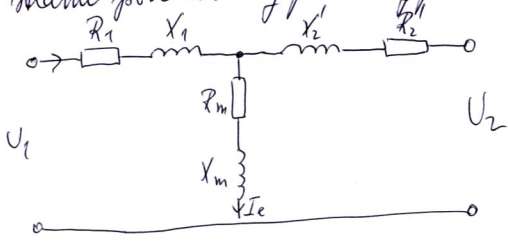
a celkovy primarni proud je

$I_1 = I_2' + I_e$

Skutečný transformátor je tedy ekvivalentní ideálnímu s předovými vnějšími impedancemi.

Převádíme-li všechny impedance na jednu stranu (primární nebo sekundární), lze ideální transformátor přisunout vpředu nebo vzadu v náhradním schéma.

Obvykle se v náhradním schéma ideální transformátor neukreslí. Je nutné si však vždy uvědomit na které straně jsou všechny parametry převáděny.



1:1

Transformátor - proudem, proud. účaji

je složen z usověného mag. obvodu a z primárního a sekundárního vinutí. Mag. obvod je tvořen setravným železem, které je samo složeno ze vzájemně izolovaných, křemíkových plechů. Cívky vinutí jsou navlečeny na sloupky železa. Jeho primárním účelem je přeměnit energii odebranou. Vyšší napětí se získá na potrubí a chladících površích teče.

Základní vztahy

Přepínání - k. na primárním vinutí stříbné napětí  $U_1$  se činným vinutím přetáhá primární proud  $I_1$ . Část proudu  $I_1$  vytváří střídný mag. tok  $\Phi_m$

hřtený se usměrňuje magnetickým obvodem. Velikost tohoto toku závisí na mechanickém napětí  $U_1$  na kmitotu  $f$  a na počtu závitů primární cívky  $N_1$  podle známého vztahu

$U_1 = 4,44 \Phi_m \cdot f \cdot N_1$

$u_i = N \frac{d\Phi}{dt}$   $\Phi = \Phi_m \cdot \text{vlnit}$

$u_i = N \cdot \omega \cdot \Phi_m \cdot \cos \omega t = U_m \cdot \sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

efektivní hodnota  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \frac{\omega}{\sqrt{2}} N \Phi_m$

$U = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{\sqrt{2}} N \cdot \Phi_m$

$U = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m$

$U = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_m$

Urnice transformátoru

Střídavý magnet pole toho prochází i přes sekundární  
vířivě s počtem  $N_2$ . Podle zákona o indukci  
indukují se v každém svitku sekundární cívky napětí  
na jednom svitku jeho se primární cívky.

Pro primární cívku

$$U_{1N} = \frac{U_1}{N_1}$$

na jeden svitek

sekundární cívky

$$U_{2N} = \frac{U_2}{N_2}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1N} = U_{2N} \Rightarrow \\ \text{na jeden svitek} \end{array} \right.$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

to je přímá úměra transform.

Pro law stability transform:

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 \Rightarrow$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Protože u skutečného transformátoru jsou svitky malé (pomocí)  
aplikují se tyto vztahy i na skutečný transformátor.

Výkon transformátoru:

$$S = U_{f2} \cdot I_2$$

jednofázový transformátor

$$S_{sf} = 3 \cdot U_{f2} \cdot I_2 = 3 \cdot \frac{U_{s2}}{\sqrt{3}} \cdot I_2 = \sqrt{3} \cdot \frac{3 U_{s2}}{3} I_2 = \sqrt{3} \cdot U_{s2} \cdot I_2 \quad \text{3-f. transform.}$$

Účinnost a účinnost:

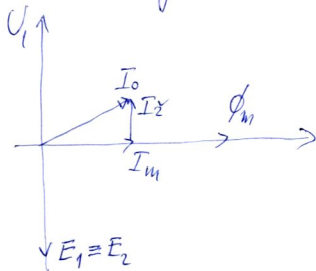
účinnost ve zkratce  $Z_{sc}$  [kW]  $R \cdot I^2$

účinnost hysteresní, vířivý proud  $Z_h$  [kW]  $\frac{1}{4} \div \frac{1}{3} \div \frac{1}{2} Z_{sc}$

účinnost  $\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{P_1 - Z_{sc} - Z_h}{P_1} \cdot 100 = 100\% - Z_{sc}\% - Z_h\%$

Teplota napětí:

Po přepnutí napětí na jiném místě (sekundární resp. jin) bude se otevírá teplota magnetického proud  $I_m$  (tím hudební proud).



sekundární napětí je přepočteno na jiném místě a jiném stupni.

Shutemý st. na účinnost. Na každý technický stav se spotřebuje určitý proud  $I_\Sigma$ . Výsledný proud  $I_0$  se namísto proud napětí a oproti se mění.

Transf. jėi atisėmė

Sekundėm' staus jė atisėmė. Pė atisėmė vėmė  
na tenusėm uilytėk vėpėtė. Ulytėk & sėbėdė sė  
dėm vėmė: & oħmėkėlė  $U_R$  & jėlėmė  $U_X$ .

Oħmėkėj uilytėk  $U_R$  jė spėsdėm pordėm I jėitėkėm  
jėis vėmėj odpėr R. jėho kėdėvė v % jė:

$$U_R = \frac{I_1 \cdot R}{U_1} \cdot 100 = \frac{Z_{as}}{S} \cdot 100 [\%]$$

$$S = U_1 \cdot I_1$$
$$U_1 = \frac{S}{I_1}$$
$$U_{R\%} = \frac{R \cdot I_1^2}{S} \cdot 100$$

Jėlėj uilytėk  $U_X$  jė spėsdėm kėrptėlybėm tėkėm.

Cėlħoj uilytėk vėpėtė  $\Delta U$  jė

$$\Delta U = U_R \cdot \cos \varphi + U_X \cdot \sin \varphi + \text{ind} - \text{kap.}$$

Transf. jėi nakhėtħo.

Spėjėm' sėħundėmėħ sėvėħ lėz odpėm - oħod  
nakhėtħo - sħėst.

Pė tėm vėmėħ nėvėsėj sħėtėj pordė  $I_{k_n}$   
& kėdėvėm v nėpėpėdėmėm jėpėdė & sėvėsėmėm  
sħėmėm

$$I_{k_n} = 18 \cdot 12 \cdot I_k$$

$I_k$  - tħodj sħėtėj pordė.

Jento **napětí** je od **účinnosti** na **tenzoru**  $I_k$  **hodnoty**  
 je **účinná**  $R$  a **reaktivní**  $X$  **odporem** **temperatu**  
 Ohmů **slabý** **impedanci** **temperatu** **reaktivity**

**Z.**

**Účinný** **šest** **je**  $I_k$

$$I_k = \frac{U_{1n}}{Z}$$

Vzhledem k **malé** **hodnotě** **impedance**  $Z$  je  $I_k$  **velmi**  
**velký** a je **nebezpečný** **pro** **stav**

**Hodnota** **tenzoru** **šest** **je** **účinná** **účinná**  
**napětí** **reaktivity**

$$u_k = \frac{Z \cdot I_{1n}}{U_{1n}} \cdot 100 [\%]$$

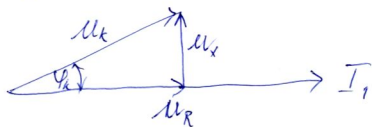
$$S_n = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_n$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

potom  $I_k = \frac{100}{u_k} \cdot I_n = \frac{100}{u_k} \cdot \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$

$$u_n = \frac{3 \cdot R \cdot I_n^2 \cdot I_n}{3 \cdot U_n \cdot I_n} = \frac{Z_{cu} \cdot 100}{S_n}$$

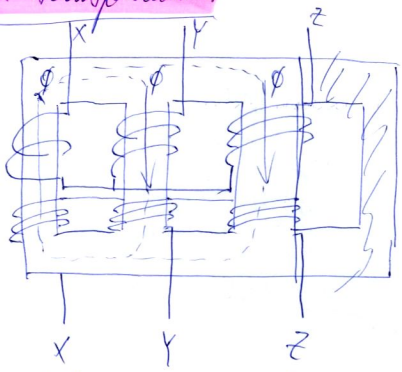
**Slabý** **napětí** **reaktivity**



$$u_R \% = \frac{Z_{cu} [kW]}{S_n [kVA]} \cdot 100$$

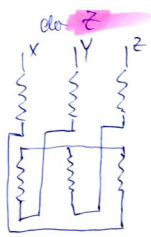
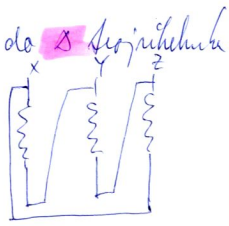
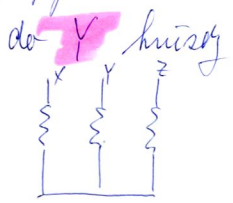


3f. transformator:



magnet. toky pro prazdini a usouloky se jeis prviza sloupy. U soumernu zehou je soucet toku nulovy

Yzpojeni



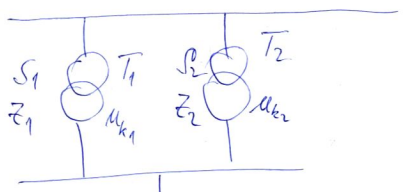
Hodinový úhel:

Posun fáze napětí mezi primárním a sekundárním vinutím stejné fáze. Fázeový posun  $30^\circ$  se vyskytuje 1 hodinou. Příčinou kombinace zapojení (Y,  $\Delta$ , Z, ...) sestává a hence vinutí lze dosáhnout 9 různých úhlů vzájemně

Výkon 3.f. transform.

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I$$

Paralelní splnění:



musí být splněno:

- 1) stejný jmenovitý napětí  $\delta \epsilon = 0,5\%$
- 2) stejné napětí nákladu  $u_k \pm 10\%$
- 3) stejný hodiny úhel
- 4) stejný sled fází
- 5) jmenovitý stejné výkon  $1:3 = 1:35'$



$$f = u_{x\%} \cdot \cos\varphi_2 ; \quad e = u_{r\%} \cdot \sin\varphi_2$$

Potom uľahčím na transformáciu:

$$\Delta u_{T\%} = u_{r\%} \cdot \cos\varphi + u_{x\%} \cdot \sin\varphi + \frac{(u_{x\%} \cos\varphi - u_{r\%} \sin\varphi)^2}{200}$$

Tota platí pre  $I_n$  a indukčnú záťaž.

Pre  $I_n$  a kapacitnú záťaž (pripadáť môže vyzimovanie) bude

$$\Delta u_{T\%} = u_{r\%} \cos\varphi - u_{x\%} \sin\varphi + \frac{(u_{r\%} \cos\varphi + u_{x\%} \sin\varphi)^2}{200}$$

Je-li  $u_k \leq 4\%$  potom

$$\Delta u_{T\%} \approx u_{r\%} \cos\varphi \pm u_{x\%} \sin\varphi$$

Pre hrubý odhad:

$$\Delta u_{T\%} \approx u_{x\%} \sin\varphi$$

Nami-li transformátor záťaž jmenovitým záťažom

$S_x \neq S_{nT}$ , potom servisné koeficient

$$k_x = \frac{S_x}{S_{nT}} = \frac{I_x}{I_{nT}} \quad \text{pre } U_n = \text{konst.}$$

Okrem toho pre uľahčím napíšu na transformáciu

$$\Delta u_{T\%} = k_x (u_{r\%} \cos\varphi \pm u_{x\%} \sin\varphi) + \frac{k_x^2 (u_{x\%} \cos\varphi \mp u_{r\%} \sin\varphi)^2}{200}$$

Einheitswert  $u_k$ :  $u_k\% = \sqrt{u_{R\%}^2 + u_{X\%}^2}$

$$u_{X\%} = \sqrt{u_k^2 - u_R^2}$$

$u_{R\%} = \frac{R \cdot I_n}{U_n} \cdot 100$ ;  $u_{X\%} = \frac{X \cdot I_n}{U_n} \cdot 100$

$u_R = \frac{3 \cdot R \cdot I_n^2}{S_n} \cdot 100 = \frac{\Delta P_R}{S_n} \cdot 100$  [%; kW; kVA]

# Zahlední parametry - štruktúrne hodnoty

$I_n$  [MVA] jmenovitý výkon

$U_k$  [%] napětí na krátko


$i_0$  [%] proud naprázdno


$\Delta P_{cu}$  [kW] ztráty na krátko  $\Delta P_k$

$\Delta P_{Fe}$  [kW] ztráty naprázdno  $\Delta P_0$

zapojení vinutí - na pí. Yd 1

úroveň třída a četů regulace:

a) regulovaná tr.:  $p = 110 \pm 8 \times 2\% / 23 \text{ kV}$  

b) neregulovaná tr.:  $p = 22 \pm 5\%$  

Rada jmenovitých výkonů:

třířázová tr.: [kVA]

- 0,75; 1; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5;
- 40; 50; 63; dále  $\times 10$ ; 100; 1000; 10 000

Rada jmenovitých napětí:

- Vstupní strana [kV]: (0,11); 0,22; <sup>0,4</sup>0,38; 0,5; (3); 6; 10; (15);  
22; 35; 110; 220; 400; 750;

Paralelní chod transformátorů

formuje se a vyhledou se při jejím napájení el. síti.

$S_1; S_2; S_3; \dots$  [kVA; MVA]

$u_{k1}; u_{k2}; u_{k3} \dots$  [%]

Obvykle nelze tyto tr. zatížit na soustavy výkonem  $S_1 + S_2 + S_3$  (s výjimkou stejných  $S_k$  a stejných  $u_k$ ).

Zařízení tvoří skupinový výkon:

Podmínky:  $S_1$  má  $u_{k1}$  nejmenší

$S_{\Sigma} = S_1' + S_2' + S_3' = S_1 + S_2 \cdot \frac{u_{k1}}{u_{k2}} + S_3 \cdot \frac{u_{k1}}{u_{k3}}$

Podle normy by  $S_{\Sigma} \geq 95\% S_{\Sigma}$  takže započítají 2 transformátory a úroveň  $\Delta u_k = \pm 10\%$

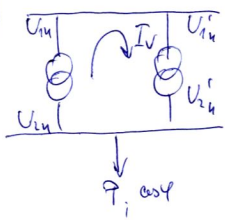
tr. navázáno výkonem má mít poměr užití  $u_k; S_1 < S_2; u_{k1} > u_{k2}$   
 $u_{k2} = u_{k1} \left( 1 + \alpha \frac{S_1 - S_2}{S_1 + S_2} \right)$

Podmínky pro paralelní napájení

napájení stejné pro jmenovitý výkon  $S_1, S_2$  užitím max 3,5  $\Delta \epsilon \% = \pm 0,5\%$

- 1) stejný počet fází
- 2) stejné napětí na kleměch  $u_k \quad \Delta u_k \% = \pm 10\%$
- 3) stejné hodiny účinnosti
- 4) stejný sled fází

od 1)



$I_1 = \frac{\Delta \epsilon \%}{u_{k1} + u_{k2}} \cdot I_n$

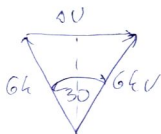
$\Delta \epsilon \% \dots$  chyba fázování

ad 2) při výhledu  $U_n$  vnitřní rovinová síla  $\Delta U$ , ale stavf.  
 s momentem  $M_n$  působícím vnitřně ať se odvíjí.

ad 3) při rozdělení  $U_n$  a  $M_n$  - pouze v vnitřní síle  $\Delta U$  a momentu  $M_n$  působícím vnitřně ať se odvíjí.

$$\sin 15 = 0,2598$$

$$\Delta \cdot \sin 15 = 0,5176$$



$$\frac{\Delta U}{Z} = \sin 15$$

$$U_n$$

$$\Delta U = \Delta \cdot \sin 15 \cdot U_n$$

$$\Delta U = 0,517 \cdot U_n$$

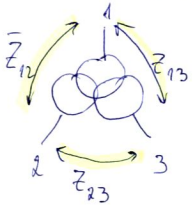
$$\Delta U = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 = \frac{0,517 \cdot U_n}{U_n} \cdot 100$$

$$\Delta U = 51,7\%$$

$$\dot{i} = \frac{51,7}{5+5} \cdot 100 = \frac{51,7}{10} \cdot 100 = 517\%$$

Trojnimerný transformace.

$\bar{S}_n$  ... nejdříve se vyjádří  $\bar{S}_{n1}; \bar{S}_{n2}; \bar{S}_{n3}$   
 a následně se vztahují procentuální hodnoty.

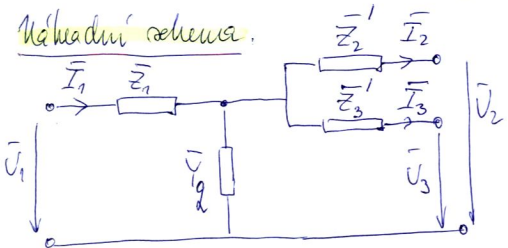


$$\bar{Z}_{12} = \frac{\mu_{k12}}{100} \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_{n2}}$$

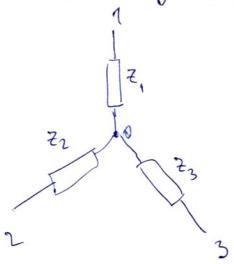
$$\bar{Z}_{13} = \frac{\mu_{k13}}{100} \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_n}$$

$$\bar{Z}_{23} = \frac{\mu_{k23}}{100} \cdot \frac{U_{n1}^2}{S_n}$$

Náhradní řešení.



$$\bar{Z}_1 = R_1 + jX_{\sigma 1}'; \quad \bar{Z}_2' = R_2' + jX_{\sigma 2}'; \quad \bar{Z}_3' = R_3' + jX_{\sigma 3}'$$



$$Z_{10} = \frac{Z_{13} + Z_{12} - Z_{23}}{2}$$

$$Z_{20} = \frac{Z_{12} + Z_{23} - Z_{13}}{2}$$

$$Z_{30} = \frac{Z_{13} + Z_{23} - Z_{12}}{2}$$



Transf.  $S_n = 1 \text{ MVA}$ ;  $u_k = 6\%$ ;  $p = 22/6,3$  je spojen na odbojce +5%  
 idninn byl spojen identicky ke paralelni, ale spojen na jmenovité odbojce

Učete zjevnou ztrátu.

$$i_w = \frac{\Delta u}{u_{k1} + u_{k2}} \cdot 100 = \frac{5}{6} \cdot 50 = 41,6\%$$

Dva tr. v zapojení V/y 0 a D/y 1 byly spojeny paralelně  $i_w = \frac{\Delta u}{5+5} \cdot 100 = \frac{517}{10}$   
 $u_{k1} = u_{k2} = 5\%$ ;  $p = 22/6,3$ ;  $S_{n1} = S_{n2} = 8 \text{ MVA}$   $i_w = 517\%$

Učete hodnotu zjevnou ztrátu ve % hodnoty na straně 6,3 kV.

$$i_w = 517\% \quad \frac{\Delta u}{2} = U_n \cdot \sin 15 \Rightarrow \Delta u = 2 U_n \sin 15; \quad \Delta u \% = \frac{\Delta u}{U_n} \cdot 100 = \frac{2 U_n \sin 15}{U_n} \cdot 100 = 2 \cdot 0,259819 \cdot 100 = 517\%$$

Tr.  $S_n = 10 \text{ MVA}$ ;  $u_k = 10\%$ ;  $u_r = 4,35\%$ ;  $u_x = 9\%$ . Učete zjevnou ztrátu  
 $\Delta P_{cu} = 435 \text{ kW}$ ;  $u_r \% = \frac{\Delta P_{cu}}{S_n} \cdot 100 \Rightarrow \Delta P_{cu} = \frac{u_r \%}{100} \cdot S_n = \frac{4,35}{100} \cdot 10000 = 435 \text{ kW}$

Tr.  $S_n = 1250 \text{ kVA}$ ;  $p = 22/6,3$ ;  $u_k = 6\%$ ;  $\Delta P_k = 100 \text{ kW}$ ;  $\Delta P_0 = 30 \text{ kW}$ .  
 Učete stavový ztrát. proud.  $I_{k+n} = \frac{100\%}{u_k} \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{100}{6} \cdot \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1909,277 \text{ A}$

Vedemí a síť v ustáleném chodu.

Elektrická vedemí a síť umožňují v elektrické soustavě přenos el. energie a výkonu a její rozvod až k elektrickým spotřebičům. Vedemí tvoří tedy velmi důležitou část elektrické soustavy. El. vedemí musí proto vyhovovat řadě podmínek:

1) Ztráta výkonu:

Při průchodu proudu vodičem se vytrácejí teplo, které se v el. soustavě odvádí do okolního prostředí a tím dochází ke ztrátě el. energie, výkonu. Tyto ztráty jsou závislé na průřezu a materiálu vodiče a na velikosti proudového výkonu, tedy na zatížení. Ztráty výkonu jsou rozdílem mezi výkonem na vstupu a elektrickým a výkonem odebraným spotřebiči. Posledy je třeba, aby tyto ztráty byly co nejmenší, ale při nízké ceně vodiče. Tento problém vede ke pojmu hospodárný průřez.

2) Úbytek napětí:

Při odchylkách provozního napětí od napětí jmenovitého může docházet ke snížení životnosti spotřebičů (zářivky), nebo k narušení správné funkce (např. motory) a dále se mění účinnost soustavy. Toto hledisko je velmi důležité zejména v těch místech el. soustavy, kde není prováděna regulace napětí.

3) **Oteplení vodičů** pro chladnější období  
 Do každé typy vodičů způsob jeho uložení je určena jeho teplota provozní teplota a tím i jeho teplotní roztažení určitém období.

4) **Odpornost proti účinkům** akustických proudů.  
 Akustické proudy způsobují jednak oteplení vodičů a dále pak vyvolávají na vodiči a jejich uložení různé účinky.

5) **Mechanická odolnost**  
 Největší neuhromnění musí odolávat relativní poměrnosti (větř, náhřez, emise dlouhé vodičů v závislosti na teplotě okolí a pod).

6) **Jistota dodávky**  
 Elektrické vedení musí být provedeno tak, aby výpadky dodávky el. energie byly co nejmenší, omezení dodávky při poruchách bylo co nejkratší a zátěžnost vedení byla uhněna účelně a podmíněně závisemí. Tyto požadavky musí být v souladu s ekonomickým množstvím prostředků vynaložených na vytvoření, provoz a údržbu závisemí.

7) **Bezpečnost závisemí a osob**  
 Umístění, provedení a zajištění el. rozvodu a přívodu musí zohledňovat řádi předpisi OSN - úřad, požár, výbuch.

8) **Vliv na životní prostředí** -  
 Vypádují se vhodné umístění el. rozvodu a přívodu s ohledem na estetiku i na účinky na našem okolí.

## 9) Unifikace -

je to důležitá hlediska pro provoz a údržbu v souvislosti s počtem usměrněných drah a svazem.

Elektrická vedení a sítě se nejčastěji provozují jako:

### 1) Paprskové sítě -

je to soustava vedení napájených z jednoho místa (jednotvárné napájení odlišní).

### 2) Okružní sítě

skládá se z okružních vedení, jejichž oba konce jsou napájeny na totéž napájecí místo, takže každé odvětví je napájeno ze dvou stran a má zvýšenou bezpečnost dodávky el. energie.

Obě tyto sítě označujeme často pojmem jednodušší vedení.

### 3) Vlnová síť (mřížová) -

zajišťuje nepřetržitý provoz a zvyšuje bezpečnost dodávky, protože každé odvětví se může napájet z několika stran.

Podle proudové soustavy dělíme el. vedení a sítě na:

1) stejnosměrné

2) střídavé

Podle velikosti napětí je rozdělujeme na sedm a tří:

- 1) mn - malé napětí
- 2) mm - malé napětí
- 3) vn - vysoké napětí
- 4) vvn - velmi vysoké napětí
- 5) zvn - zvlášť vysoké napětí
- 6) uvv - ultra vysoké napětí

Tab. 1 Rozdělení elektrických zařízení podle jejich provozního napětí

Kategorie napětí	Označení napětí	Název zařízení	Jmenovité napětí		
			v uzemněné soustavě		v izolované soustavě
			mezi vodičem a zemí	mezi vodiči	mezi vodiči
1	2	3	4	5	6
I	mn	zařízení malého napětí	do 50 V <sup>*)</sup> včetně	do 50 V <sup>*)</sup> včetně	do 50 V <sup>*)</sup> včetně
II	mm	zařízení nízkého napětí	nad 50 V do 600 V včetně	nad 50 V <sup>*)</sup> do 1 000 V <sup>*)</sup> včetně	nad 50 V <sup>*)</sup> do 600 V <sup>*)</sup> včetně
A	vn	zařízení vysokého napětí	nad 0,6 kV a menší než 30 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV	nad 1 kV a menší než 52 kV
B	vn	zařízení velmi vysokého napětí	od 30 kV a menší než 171 kV	od 52 kV a menší než 300 kV	od 52 kV a menší než 300 kV
C	zvn	zařízení zvlášť vysokého napětí	—	od 300 kV do 800 kV včetně	—
D	uvv	zařízení ultravysok. napětí	—	nad 800 kV	—

<sup>\*)</sup> Sdělovací zařízení s napětím mezi vodiči v izolované soustavě do 85 V včetně se pokládají za zařízení mn. Sdělovací zařízení se jmenovitým napětím 60 V proti zemi a s výsáňací obvody s napětím do 150 V se budují podle předpisu pro zařízení malého napětí a osvětlení se při zkoušce elektrické odolnosti napětím 500 V.  
<sup>\*\*)</sup> Pro stejnosměrná zařízení se hranice mezi malým a nízkým napětím 120 V. Hranice mezi nízkým a vysokým napětím se pro stejnosměrná zařízení napětí 1 500 V.

# Problematika výkonu ve střídavých sítích.

\* VS

Ve střídavých sítích používáme těchto výkonů:

jednofázový činný

$$P_f = U_f \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W; V, A]$$

třífázový činný

$$P = 3 \cdot U_f \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad [W; V, A]$$

jednofázový jalový

$$Q_f = U_f \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VA; V, A]$$

třífázový jalový

$$Q = 3 \cdot U_f \cdot I \cdot \sin \varphi$$

$$Q = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad [VA; V, A]$$

jednofázový zdánlivý

$$S_f = U_f \cdot I$$

$$S_f = \sqrt{P_f^2 + Q_f^2} \quad [VA, W, VA]$$

třífázový zdánlivý

$$S = 3 \cdot U_f \cdot I = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \quad [VA, V, A]$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad [VA, W, VA]$$

komplexní jednofázový

$$\bar{S}_f = P_f + jQ_f = U_f I (\cos \varphi + j \sin \varphi) = S_f \cdot e^{\pm j\varphi}$$

Časový průběh studovaného napětí a proudu je:

$$u = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_u) = U_m \operatorname{Re}[e^{j(\omega t + \varphi_u)}]$$

$$i = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_i) = I_m \operatorname{Re}[e^{j(\omega t + \varphi_i)}]$$

Do těchto vztahů současně uvedeme efektivní hodnoty proudu a napětí

$$I_m = \sqrt{2} I \quad ; \quad U_m = \sqrt{2} U_f$$

$$u = \operatorname{Re}[\sqrt{2} U_f e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi_u}] = \operatorname{Re}[\sqrt{2} \bar{U}_f e^{j\omega t}]$$

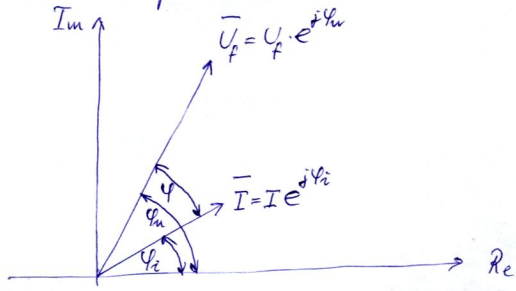
$$i = \operatorname{Re}[\sqrt{2} I e^{j\omega t} \cdot e^{j\varphi_i}] = \operatorname{Re}[\sqrt{2} \bar{I} e^{j\omega t}]$$

V těchto rovnicích jsou sčudeny faktory napětí a proudu:

$$\bar{U}_f = U_f \cdot e^{j\varphi_u}$$

$$\bar{I} = I \cdot e^{j\varphi_i}$$

ty zúvodníme v komplexní rovinně obr. 38.



obr. 38

Ide ji uvedeno indukčním sítětem, kdy fázor proudu je opožďen za fázorem napětí o úhel  $\varphi$ .

Dále můžeme definovat komplexní sdružené faktory:

$$\bar{U}_f^* = U_f \cdot e^{-j\varphi_u} \quad ; \quad \bar{I}^* = I \cdot e^{-j\varphi_i}$$

Potom lze komplexní jednofázový výkon vyjádřit dvěma způsoby:

$$a) \bar{S}_f = \bar{U}_f^* \cdot \bar{I} = U_f \cdot I \cdot e^{j(\varphi_u + \varphi_i)} = U_f I e^{j(\varphi_u - \varphi_i)}$$

Pro indukční sítěť na obr. 38 platí  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$  takže

$$\bar{S}_f = U_f \cdot I \cdot e^{-j\varphi} = P_f - jQ_f$$

Vidíme, že znaménko - v tomto případě znamená indukční zatížení

b)  $\bar{S}_f = \bar{U}_f \cdot \bar{I}^* = U_f \cdot I \cdot e^{j(\varphi_u - \varphi_i)}$

zde opět  $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$  je indukční úhel.

$\bar{S}_f = U_f \cdot I \cdot e^{+j\varphi} = P_f + jQ_f$

Vidíme, že zde znaménko + znamená indukční zatížení.

U těchto lze volit jeden nebo druhý způsob pro komplexní výkon, ale je nutno v celém výpočtu dodržet zvolený způsob.



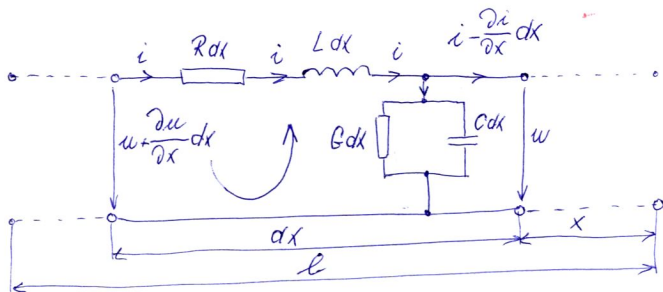
## Trojčlenné rovnice vVN, 2VN

V8

Učelem trojčlenných rovnic nepřesných rozptí je přenos velkého množství elektřiny energie obvykle na velké vzdálenosti (celostátní el. soustava nebo mezinárodní splávací). U těchto rovnic se zanedbávají především na stromem poměry na jednom konci převodu při zadání poměrů na druhém konci. Tím získáme podmínky pro řešení sítě číselného výkom a stromem účinnosti převodu.

Řešení dlouhých převodných rovnic se provádí při uzávnění všech čtyř základních parametrů t. j.  $R, L, G, C$ . Úvedení parametrů jsou rovnoměrně rozloženy podél celé délky vedení. Takové vedení nazýváme rovnice homogenním vedením.

Vezmeme elementární úsek vedení o délce  $dx$ , který je rozdělen od konce vedení o  $x$  jeh je uvedeno na obr. 33.



obr. 33

Parametry jsou udány na jednotku délky 1 km. Potom podle 2. K.z. platí pro napětí:

$$u + \frac{\partial u}{\partial x} dx - u - R dx \cdot i - L dx \frac{\partial i}{\partial t} = 0$$

a z toho pro změnu napětí na díleci elementu  $dx$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = R \cdot i + L \frac{\partial i}{\partial t}$$

Podle 1. K.z. pro proud v uvaž. plati:

$$i - \frac{\partial i}{\partial x} dx - i + G dx \cdot u + C dx \frac{\partial u}{\partial t} = 0$$

a z toho změna proudu v elementu  $dx$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = G \cdot u + C \frac{\partial u}{\partial t}$$

Do rovnice pro napětí a proud dosadíme stacion. napětí

a proud podle vztahů:

$$u = U_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_u) = U_m \operatorname{Re} \left\{ e^{j(\omega t + \varphi_u)} \right\} = \sqrt{2} \cdot U_f \cdot \operatorname{Re} \left\{ e^{j(\omega t + \varphi_u)} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \sqrt{2} U_f \cdot e^{j\omega t} \right\}$$

$$i = I_m \cdot \cos(\omega t + \varphi_i) = I_m \operatorname{Re} \left\{ e^{j(\omega t + \varphi_i)} \right\} = \sqrt{2} \cdot I_f \cdot \operatorname{Re} \left\{ e^{j(\omega t + \varphi_i)} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \sqrt{2} I_f \cdot e^{j\omega t} \right\}$$

Potřebné derivace budou

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ \frac{d\hat{U}_f}{dx} \cdot e^{j\omega t} \right\}; \quad \frac{\partial i}{\partial x} = \sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ \frac{d\hat{I}}{dx} \cdot e^{j\omega t} \right\}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ j\omega \hat{U}_f \cdot e^{j\omega t} \right\}; \quad \frac{\partial i}{\partial t} = \sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ j\omega \hat{I} \cdot e^{j\omega t} \right\}$$

Po dosazení a patřičné úpravě bude

$$\sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ \frac{d\hat{U}_f}{dx} \cdot e^{j\omega t} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \sqrt{2} \cdot \hat{I} \cdot e^{j\omega t} \right\} + L \cdot \sqrt{2} \cdot \operatorname{Re} \left\{ j\omega \hat{I} \cdot e^{j\omega t} \right\}$$

$$\sqrt{2} \cdot \frac{d\hat{U}_f}{dx} \cdot \operatorname{Re} \left\{ e^{j\omega t} \right\} = \sqrt{2} \cdot \hat{I} \cdot \operatorname{Re} \left\{ e^{j\omega t} \right\} + \sqrt{2} \cdot L \cdot j\omega \cdot \hat{I} \cdot \operatorname{Re} \left\{ e^{j\omega t} \right\}$$

$$\frac{d\hat{U}_f}{dx} = (R + j\omega L) \cdot \hat{I} = \hat{Z}_e \cdot \hat{I}$$

a obdobně pro proud:

$$\frac{d\hat{I}}{dx} = (G + j\omega C) \hat{U}_f = \hat{Y}_g \cdot \hat{U}_f$$

Derivujme rovnici pro napětí podle  $x$  a dosadíme rovnici pro derivaci proudu:

$$\frac{d^2 \hat{U}_f}{dx^2} = \hat{Z}_e \cdot \frac{d\hat{I}}{dx} = \hat{Z}_e \cdot \hat{Y}_g \cdot \hat{U}_f = \hat{\mathcal{P}}^2 \cdot \hat{U}_f$$

Podobně derivujme rovnici pro proud a dosadíme

$$\frac{d^2 \hat{I}}{dx^2} = \hat{Y}_g \frac{d\hat{U}_f}{dx} = \hat{Z}_e \cdot \hat{Y}_g \cdot \hat{I} = \hat{\mathcal{P}}^2 \cdot \hat{I}$$

V obou rovnících je shodně označeno  $\hat{\mathcal{P}} = \sqrt{\hat{Z}_e \cdot \hat{Y}_g}$ , které

svaeti konstantu  $\hat{u}_f$  (komplexni).

Druhi derivace napiti a proudu jsou lineárními diferenciálními rovnicemi druhého řádu. Jejich řešení je sestaveno ze dvou tvaru  $e^{\lambda x}$ ,  $\lambda = \pm \gamma$  a obecný integrál bude:

$$\hat{U}_f = \hat{K}_1 \cdot e^{\gamma x} + \hat{K}_2 \cdot e^{-\gamma x}$$

kde  $\hat{K}_1, \hat{K}_2$  jsou integrační konstanty.

2. rovnice přidělení je  $\frac{d\hat{U}_f}{dx} = \hat{Z}_c \cdot \hat{I}$  vyjádříme proud  $\hat{I}$

$$\begin{aligned} \hat{I} &= \frac{d\hat{U}_f}{dx} \cdot \frac{1}{\hat{Z}_c} = (\hat{K}_1 \cdot \hat{\gamma} \cdot e^{\gamma x} - \hat{K}_2 \cdot \hat{\gamma} \cdot e^{-\gamma x}) \cdot \frac{1}{\hat{Z}_c} = \frac{\hat{\gamma}}{\hat{Z}_c} (\hat{K}_1 e^{\gamma x} - \hat{K}_2 e^{-\gamma x}) = \\ &= \frac{\sqrt{\hat{Z}_c \cdot \hat{Y}_g}}{\hat{Z}_c} (\hat{K}_1 e^{\gamma x} - \hat{K}_2 e^{-\gamma x}) = \sqrt{\frac{\hat{Y}_g}{\hat{Z}_c}} (\hat{K}_1 e^{\gamma x} - \hat{K}_2 e^{-\gamma x}) \end{aligned}$$

$$\hat{I} = \frac{1}{\hat{Z}_{ve}} (\hat{K}_1 e^{\gamma x} - \hat{K}_2 e^{-\gamma x})$$

zde jsme zvolili pojem vlnová impedanace  $\hat{Z}_{ve} = \sqrt{\frac{\hat{Z}_c}{\hat{Y}_g}}$

Integrační konstanty  $\hat{K}_1$  a  $\hat{K}_2$  určíme z okrajových podmínek:

Pro konec vedení:  $x=0$  označíme  $\hat{U}_f = \hat{U}_{f2}$ ;  $\hat{I} = \hat{I}_2$

Pro začátek vedení:  $x=l$  označíme  $\hat{U}_f = \hat{U}_{f1}$ ;  $\hat{I} = \hat{I}_1$

Tyto podmínky aplikujeme na rovnice

$$\hat{U}_f = \hat{K}_1 \cdot e^{\gamma x} + \hat{K}_2 \cdot e^{-\gamma x}$$

$$\hat{I} = \frac{1}{\hat{Z}_{ve}} (\hat{K}_1 e^{\gamma x} - \hat{K}_2 e^{-\gamma x})$$

Pro  $x=0$  bude:

$$\hat{U}_{f2} = \hat{K}_1 + \hat{K}_2$$

$$\hat{I}_2 = \frac{1}{\hat{Z}_{ne}} (\hat{K}_1 - \hat{K}_2)$$

2. řečto rovnice dostaneme

$$\hat{K}_1 = \frac{1}{2} (\hat{U}_{f2} + \hat{Z}_{ne} \hat{I}_2)$$

$$\hat{K}_2 = \frac{1}{2} (\hat{U}_{f2} - \hat{Z}_{ne} \hat{I}_2)$$

Dosažením řečto konstant do ryčkových rovnice dostaneme pro sáčatek nidení ( $x=l$ ):

$$\hat{U}_{f1} = \hat{U}_{f2} \frac{e^{\hat{\gamma}l} + e^{-\hat{\gamma}l}}{2} + \hat{Z}_{ne} \hat{I}_2 \frac{e^{\hat{\gamma}l} - e^{-\hat{\gamma}l}}{2}$$

$$\hat{I}_1 = \frac{\hat{U}_{f2}}{\hat{Z}_{ne}} \frac{e^{\hat{\gamma}l} - e^{-\hat{\gamma}l}}{2} + \hat{I}_2 \frac{e^{\hat{\gamma}l} + e^{-\hat{\gamma}l}}{2}$$

Použitím hyperbolických funkcí siskéme obyčle' rovnice pro sáčatí napětových a proudových poměru na homogenním nidení:

$$(I) \hat{U}_{f1} = \hat{U}_{f2} \cdot \cosh \hat{\gamma}l + \hat{Z}_{ne} \hat{I}_2 \cdot \sinh \hat{\gamma}l \quad [V]$$

$$(II) \hat{I}_1 = \frac{\hat{U}_{f2}}{\hat{Z}_{ne}} \sinh \hat{\gamma}l + \hat{I}_2 \cosh \hat{\gamma}l \quad [A]$$

Do rovnice (I) a (II) dosazujeme :

$$\hat{U}_{f_2} [V]; \hat{g} [1/km]; l [km]; \hat{Z}_{se} [\Omega]; \hat{I}_2 [A]; \hat{U}_{f_1} [V], \hat{I}_1 [A]$$

Rovnice (I) a (II) se částo píší ve tvaru :

$$\hat{U}_{f_1} = \hat{A} \hat{U}_{f_2} + \hat{B} \hat{I}_2$$

$$\hat{I}_1 = \hat{C} \hat{U}_{f_2} + \hat{D} \hat{I}_2$$

Konstanty jsou  $\hat{A} [-]$ ;  $\hat{B} [\Omega]$ ;  $\hat{C} [S]$ ;  $\hat{D} [-]$  a nazývají se Blondelovy konstantami pro homogenní vedení.

Platí pro ně podmínky :

$$\hat{A} = \hat{D} ; \hat{A} \hat{D} - \hat{B} \hat{C} = 1$$

Rovnice (I) a (II) umožňují stanovit vstupní  $\hat{U}_{f_1}$  a proud  $\hat{I}_1$  na začátku vedení, při zjednodušených poměrech na konci vedení.

Dobré potřebné hodnoty na začátku vedení určíme z  $\hat{S}_1$  a  $\hat{I}_1$  komplexního výkonu.

$$\hat{S}_1 = 3 \hat{U}_{f_1}^* \cdot \hat{I}_1 = \hat{P}_1 + j \hat{Q}_1$$

$$[VA] ; [V] ; [A] ; [W] ; [Var]$$

$$\lg \varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} \Rightarrow \cos \varphi_1$$

Útraty činného výkonu :

$$\Delta P_c = P_1 - P_2 [W]$$

### Účinnost přenosu:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \text{ ; } [\% ; W ; W]$$

Pro porovnávací přenosové schopnosti u vedení vvn a zvn se používá přivrozený výkon.

Je to tečný výkon, při kterém je vedení na svých konci zatíženo impedancí, která je rovna vlnové impedanci, čili

$$\hat{I}_2 = \frac{\hat{U}_2}{\hat{Z}_v}$$

Trojfázový přivrozený výkon odebraný na konci je:

$$\hat{P}_2 = 3 \cdot \hat{U}_2 \cdot \hat{I}_2 = 3 \cdot \hat{U}_2 \cdot \frac{\hat{U}_2}{\hat{Z}_{ve}} = \frac{U_2^2}{\hat{Z}_{ve}} \text{ [MVA ; kV ; } \Omega \text{]}$$

Činná složka přivrozeného výkonu je podstatně větší než jeho složka jalová, proto se běžně v literatuře udává přivrozený výkon v [MW].

Informační hodnoty pro vedení vvn a zvn:

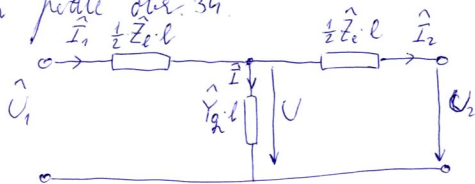
	Vedení vvn , zvn					
Napětí [kV]	110	220	400	750	1150	1800
Počet vodičů na svazku	1	1	3	4	8	16
Vlnová impedance [ $\Omega$ ]	390	390	280	270	250	230
Přivrozený výkon [MW]	30	120	580	2100	5300	14000

Rozeborem schématických rovnic (I) a (II) homogenního vedení musíme studovat zvlášť provozní stav, jeho řešení. Chod vedení napředur, chod s přetěžováním vyjádřením. chod v oblasti velkých setrvačností.

Pro přibližné metody výpočtu dlouhých vedení se často, zejména pro vedení nevhodných schémat sítě, používají nevhodné články. Parametry vedení se soustředily potřebným způsobem, který je nutné pro vytvoření vhodných nevhodných článků vedení. Pro tyto přibližné výpočty používáme výpočet pomocí T-článku a π-článku.

Výpočet vedení pomocí T-článku

Tento článek - jeho parametry - získáme tím způsobem že podélno impedanci vedení rozdělíme na dvě poloviny a umístíme je na sečtech a konce vedení. Přičemž admittance umístíme do středního bodu vedení podle obr. 34.



obr. 34



Potom napíši na sečítku udelem' lude:

$$\hat{U}_1 = \hat{U}_2 + \frac{1}{2} \hat{Z}_i \cdot l \cdot \hat{I}_2 + \frac{1}{2} \hat{Z}_i \cdot l \cdot \hat{I}_1$$

Pond na sečítku udelem' lude:

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 + \hat{I}$$

Napíši na striedu udelem', tedy na puvencu' uctri:

$$\hat{U} = \hat{U}_2 + \frac{1}{2} \hat{Z}_i \cdot l \cdot \hat{I}_2$$

Pond tekouci puvencu' uctri:

$$\hat{I} = \hat{Y}_g \cdot l \cdot \hat{U} = \hat{Y}_g \cdot l \cdot \hat{U}_2 + \frac{1}{2} \hat{Y}_g \cdot \hat{Z}_i \cdot l^2 \cdot \hat{I}_2$$

Doseknim do vztahu pro pond na sečítku distonome:

$$\hat{I}_1 = \hat{Y}_g \cdot l \cdot \hat{U}_2 + \left(1 + \frac{\hat{Z}_i \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{2}\right) \cdot \hat{I}_2$$

Tenta pond doseknim do vztahu pro napiti na sečítku:

$$\hat{U}_1 = \left(1 + \frac{\hat{Z}_i \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{2}\right) \hat{U}_2 + \hat{Z}_i \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\hat{Z}_i \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{4}\right) \cdot \hat{I}_2$$

Vysledni rovnice napiti a pond na sečítku udelem' zepriobjime casto pomoci Blondelovyeh konstant pro T-článek:

$$\hat{U}_1 = \hat{A}_T \cdot \hat{U}_2 + \hat{B}_T \cdot \hat{I}_2$$

$$\hat{I}_1 = \hat{C}_T \cdot \hat{U}_2 + \hat{D}_T \cdot \hat{I}_2$$

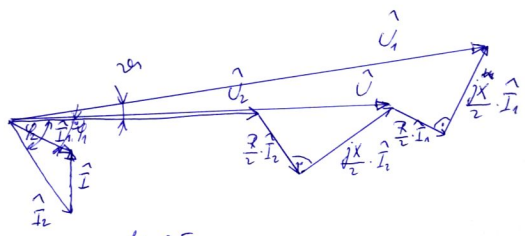
Pro tyto konstanty plati vztahy:

$$\hat{A}_T = \hat{D}_T \quad ; \quad \hat{A}_T \hat{D}_T - \hat{B}_T \hat{C}_T = 1$$

Do rovnice pro napětí a proud dosadíme parametry:

$$\hat{Z}_e [\Omega/\text{km}]; \hat{Y}_g [S/\text{km}]; l [\text{km}]; \hat{U}_2 [V]; \hat{U}_1 [V]; \hat{I}_1, \hat{I}_2 [A]$$

Napětí a proudové poměry, které jsou soubor řešení  $\pi$ -článku jsou názevně vidět na obvodu obr. 35.

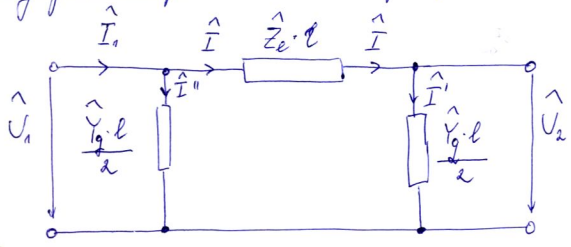


obr. 35.

Z důvodu jednoduchosti diagramu je zanedbán směr  $\theta = 0$ .

Výpočet vedem pomocí  $\pi$ -článku.

Tento náhradní členek vytvoříme tak, že podélkou impedancí dáme do středu vedem a na její svazky akone připojíme vždy polovinu původní admittance jak je to vidět na obr. 36.



obr. 36

Pro napětí na secátku plati:

$$\hat{U}_1 = \hat{U}_2 + \hat{Z}_c \cdot l \cdot \hat{I} = \hat{U}_2 + \hat{Z}_c \cdot l \cdot (\hat{I}_2 + \hat{I}')$$

Pro proud na secátku vedem' plati

$$\hat{I}_1 = \hat{I}_2 + \hat{I}' + \hat{I}''$$

Pro proudy do pítomných útvi' plati:

$$\hat{I}' = \frac{1}{2} \hat{Y}_g \cdot l \cdot \hat{U}_2 ; \quad \hat{I}'' = \frac{1}{2} \hat{Y}_g \cdot l \cdot \hat{U}_1$$

Dosadíme proud  $\hat{I}'$  do vztahu pro pítomné napětí na secátku vedem':

$$(I) \quad \hat{U}_1 = \left(1 + \frac{\hat{Z}_c \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{2}\right) \hat{U}_2 + \hat{Z}_c \cdot l \cdot \hat{I}_2$$

Dále dosadíme pítomné proudy  $\hat{I}'$  a  $\hat{I}''$  s použitím pítomné odrušeného vztahu pro napětí na secátku do vztahu pro proud na secátku a po pítomné úpráve dostaneme:

$$(II) \quad \hat{I}_1 = \hat{Y}_g \cdot l \cdot \left(1 + \frac{\hat{Z}_c \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{4}\right) \hat{U}_2 + \left(1 + \frac{\hat{Z}_c \cdot \hat{Y}_g \cdot l^2}{2}\right) \cdot \hat{I}_2$$

Rovnice (I) a (II) opít zapíšeme pomocí Blondelových konstant  $\pi$ -článku:

$$\hat{U}_1 = \hat{A}_\pi \cdot \hat{U}_2 + \hat{B}_\pi \cdot \hat{I}_2$$

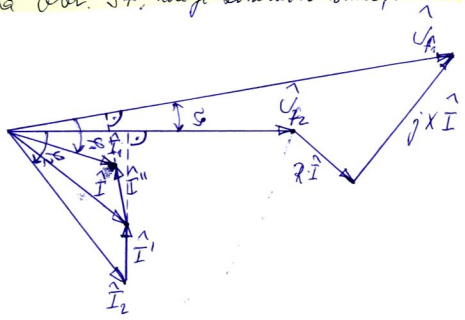
$$\hat{I}_1 = \hat{C}_\pi \cdot \hat{U}_2 + \hat{D}_\pi \cdot \hat{I}_2$$

pro které opít plati:

$$\hat{A}_\pi = \hat{D}_\pi ; \quad \hat{A}_\pi \cdot \hat{D}_\pi - \hat{B}_\pi \cdot \hat{C}_\pi = 1$$

Do rovnic (I) a (II) opět dosadíme v následující jednotkách  $\hat{Z}_e [S/km]; Y_g [S/km]; l [km]; \hat{U}_2, \hat{U}_1 [V]; \hat{I}_2, \hat{I}_1 [A]$ .

Napětí a proudové poměry odrazem pomocí n-čláčku jsou vidět na obr. 37, kde je zanedbán zvod,  $G=0$ .

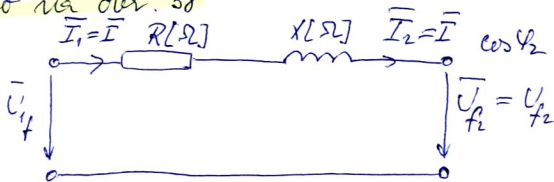


obr. 37

## Trojčlenné vedení a síť vn a nn.

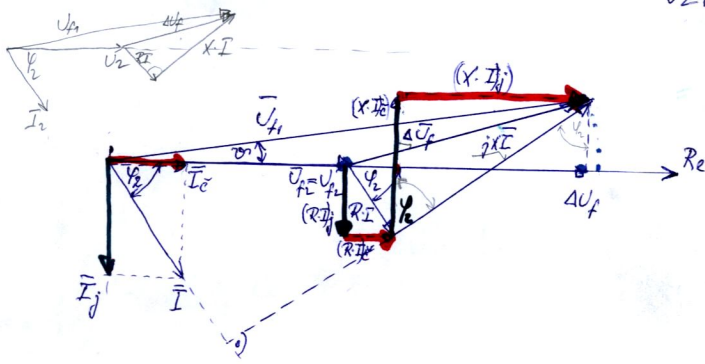
Tato vedení se jistěji se složebem' elektickou energií púmpy, semidibitri, stavebními, doplnu, místa, usmie i jednovlákné spóti bič. U těchto vedení vyzníujeme předurčené napětové a výkonové poměry, proto napí uelky vliv na tyto poměry čimny odpor a indukční reaktance, tedy s. 20. podílku parametry. Odvodíme tedy potřebné vztahy pro vn. V síti nn musíme obvykle součkat reaktanci  $X$  ( $X \rightarrow 0$ ). Proto postačí v odvozených vztazích dosadit  $X = 0$  a získáme potřebné vztahy pro vedení a síť nn.

Protože opět předpokládáme jeho deime souměrné zatížení, postačí zísčit vše pro jednu fázi jak je uvedeno na obr. 38



obr. 38

Konec vedení označujeme indexem 2, začátek vedení indexem 1. Pro toto následní schéma musíme kreslit fázeový diagram púvrou obr. 39.



obr. 39

Rozložíme-li silybythé napětí  $R\bar{I}$  a  $X\bar{I}$  na reálné a imaginární složky jak je v obr. 39 nesmíme čerhování, vidíme se členy  $R\bar{I}_c$  a  $X\bar{I}_j$  ovlivňují zejména velikost  $\Delta\bar{U}_f$

$R\bar{I}_j$  a  $X\bar{I}_c$  ovlivňují zejména úhel  $\varphi$  mezi  $\bar{U}_f$  a  $\bar{U}_1$

Pokud se normálního plossek je úhel  $\varphi$  velmi malý (asi do 30° můžeme při praktickém výpočtu uvažovat pouze reálnou část silybythé napětí:

$$\Delta\bar{U}_f \approx \Delta U_f = R\bar{I}_c + X\bar{I}_j$$

Tuto rovnici získáme matematic. postupem tak, že vyjádříme komplexní silybythé napětí pomocí Ohmova zákona a pokud rozdělíme na číselnou a imaginární složku.

$$\begin{aligned} \Delta\bar{U}_f &= \bar{Z}_i \cdot \bar{I} = (R + jX) \cdot (\bar{I}_c + j\bar{I}_j)_{KAP} = \\ &= \underbrace{R\bar{I}_c + X\bar{I}_j}_{\text{vliv na velikost}} + j \underbrace{(X\bar{I}_c + R\bar{I}_j)}_{\text{vliv na natočení (úhel \varphi)}} \end{aligned}$$

V22

Pohad zanedbáme imaginární člen v předchozí rovnici  
 bude:

$$\bar{U}_f \doteq \Delta U_f = R \cdot \bar{I}_c \pm X \bar{I}_j \quad \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

Naučené strání, rozšíříme výrazem  $3 \cdot U_f$ :

$$\Delta U_f = \frac{R \cdot 3U_f \cdot \bar{I}_c \pm X \cdot 3U_f \cdot \bar{I}_j}{3U_f} = \frac{R \cdot P \pm X \cdot Q}{3U_f} \quad \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

Z této rovnice lze určit velikost napětí při zadaném trojfázovém  
 činném a jalovém výkonu.

Pohad chceme snít procento velikost napětí

$$\varepsilon \% = \frac{\Delta U_f}{U_f} \cdot 100 = \frac{R \cdot P \pm XQ}{3U_f^2} \cdot 100$$

$$\varepsilon \% = \frac{R \cdot P \pm XQ}{U^2} \cdot 100 \quad \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

Trojfázové stěhy činného výkonu určíme z výrazu pro  
 eminu kompletního výkonu na vedení:

$$\begin{aligned} \Delta S &= 3 \cdot \Delta \bar{U}_f \cdot \bar{I}^* = 3 \cdot \bar{Z}_e \cdot \bar{I} \cdot \bar{I}^* = 3 \cdot \bar{Z}_e \cdot I^2 = 3 \cdot (R + jX) \cdot I^2 = \\ &= 3 \cdot R I^2 + j 3 X I^2 = \Delta P + j \Delta Q \end{aligned}$$

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot I^2 = 3 \cdot R (I_c^2 + I_j^2)$$

Z této rovnice je vidět, že i jalový proud, který též vedemím  
 způsobují činné stěhy.

Do této rovnice dosadíme výraz pro činný odpor vedení

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad \text{a za trojfázový činný výkon } P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \Rightarrow$$

$$I^2 = \frac{P^2}{3 \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

$$\Delta P = \frac{P^2}{S \cdot U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \cdot l \cdot P^2$$

Sucentum straty činného výkonu budou:

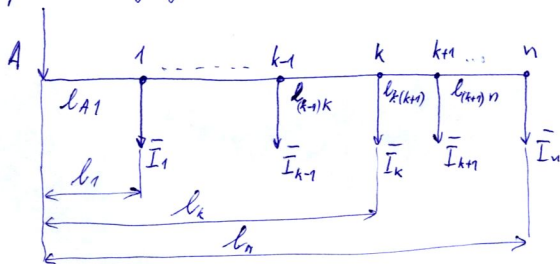
$$P\% = \frac{\Delta P}{P} \cdot 100 = \frac{P^3 \cdot 100}{S U^2 \cos^2 \varphi} l \cdot P$$

Trojfázové vedení v n jednotkami napětí:

úv řádění tohoto vedení udáváme podobnou impedanci na škm délky ne tuam

$$\bar{Z}_{e1} = R_1 + jX_1$$

a předpokládáme ji jednotkou v celé délce, obr. 40



obr. 40

Uvěme elythy v jednotkách úsečkách od konce

$$\Delta \bar{U}_{(k+1)n} = \bar{Z}_{e1} \cdot l_{(k+1)n} \cdot \bar{I}_n$$

$$\Delta \bar{U}_{k(k+1)} = \bar{Z}_{e1} \cdot l_{k(k+1)} \cdot \bar{I}_n + \bar{Z}_{e1} \cdot l_{k(k+1)} \cdot \bar{I}_{k+1}$$

$$\Delta \bar{U}_{(k-1)k} = \bar{Z}_{e1} \cdot l_{(k-1)k} \cdot \bar{I}_n + \bar{Z}_{e1} \cdot l_{(k-1)k} \cdot \bar{I}_{k+1} + \bar{Z}_{e1} \cdot l_{(k-1)k} \cdot \bar{I}_k$$

$$\Delta \bar{U}_{A1} = \dots + \bar{Z}_{e1} \cdot l_{A1} \cdot \bar{I}_n$$



V24

jednotlivé úbytky sečteme a dostaneme celkový úbytek na vedení:

$$\Delta \bar{U}_{An} = \bar{Z}_0 (l_n \cdot \bar{I}_n + \dots + l_{(n+1)} \cdot \bar{I}_{n+1} + l_k \cdot \bar{I}_k + l_{(k-1)} \cdot \bar{I}_{k-1} + \dots + l_1 \cdot \bar{I}_1)$$

Na konci vedení je nepřítok úbytků:

$$\Delta \bar{U}_{fmax} = \Delta \bar{U}_{An} = \bar{Z}_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k \cdot \bar{I}_k$$

a opět zanedbáme-li imaginární část dostaneme po úpravě:

$$\Delta U_{fmax} \approx R_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k \cdot I_{ck} + X_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k \cdot I_{jk} \quad \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

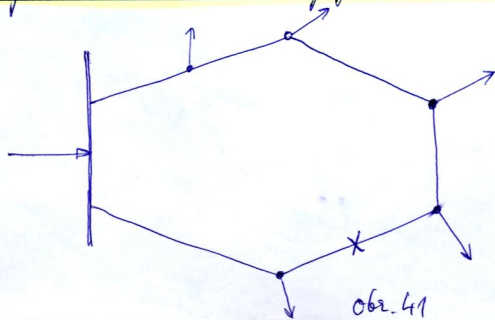
a obdobně po řešení pravé strany rovnice vyjádrem  $3 \cdot U_f$

$$\Delta U_{fmax} = \frac{R_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k P_k + X_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k Q_k}{3 U_f} \quad \begin{matrix} \text{IND} \\ \text{KAP} \end{matrix}$$

Potom procentní úbytek bude:

$$\varepsilon \% = \frac{\Delta U_{fmax}}{U_f} \cdot 100 = \frac{R_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k P_k + X_0 \cdot \sum_{k=1}^n l_k Q_k}{U^2} \cdot 100$$

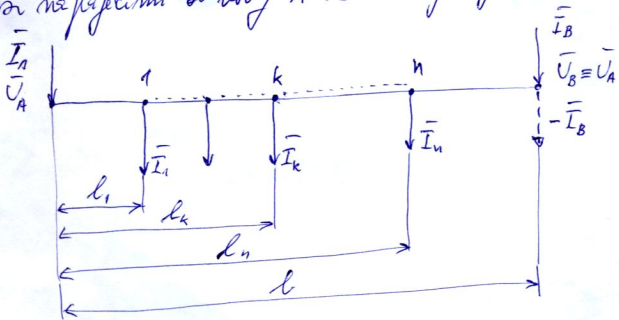
Trojfázové vedení vn nepojené dvoustranně



Takto prevedené vedení využívá jistotu dodržení el. neutrality.  
 Při přechodu některého úseku na pí. v místě x, je zapotřebí  
 považovat jeho parametrů.  
 Pro výpočet využíváme předchozí výsledky. Budeme-li  
 provedení vedení stejné na všech úsecích, potom podléhá  
 impedanční vedení rovnice:

$$\bar{Z}_{e_n} = R_n + jX_n \quad [\Omega/\text{km}]$$

Siť z obr. 41 přehledně podle obr. 42 jeho předchozí  
 jednovrstevné napájecí vedení ve kterém je napájecí proud bodu B  
 násobkem jeho nezávislý odliš  $-\bar{I}_B$ . Také musí být úbytek  
 musí napájecími body A a B rovný tj.  $\bar{U}_A = \bar{U}_B$ .



obr. 42

za těchto podmínek bude úbytek napětí podle vztahu pro  
 jednovrstevné napájecí vedení:

$$\Delta \bar{U}_{AB} = 0 = Z_{e_n} \sum_{k=1}^n l_k \cdot \bar{I}_k - \bar{Z}_{e_n} \cdot l \cdot \bar{I}_B$$

a z toho nezávislý proud napájecí  $\bar{I}_B$  bude:

$$\bar{I}_B = \frac{\sum_{k=1}^n l_k \cdot \bar{I}_k}{l}$$

Područkou druheho naprežiče zjstíme zornosti prondnych momentu: VdG

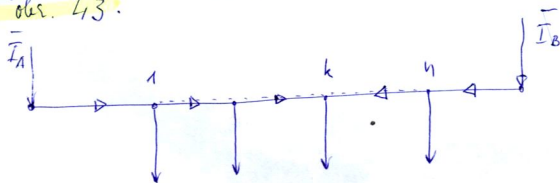
$$\bar{I}_A \cdot l = \sum_{k=1}^n (l - l_k) \cdot \bar{I}_k$$

$$\bar{I}_A = \frac{\sum_{k=1}^n (l - l_k) \cdot \bar{I}_k}{l}$$

Přitom po prondy oddělováme a naprežiči platí vztah:

$$\bar{I}_A + \bar{I}_B = \sum_{y=1}^n \bar{I}_y$$

Dále je nutné stanovit prondnu zohlednění podél radeu podle obr. 43.



obr. 43.

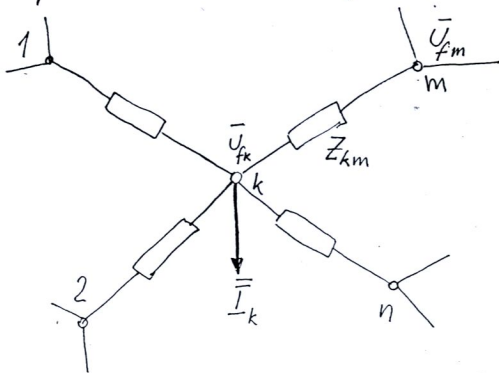
Opět střísněním radeu se u ohuivního radeu často vyplatí jít jedno místo, kde se máme zvaněného čírného prondy a druhé místo kde se máme zvaněného jalového prondy. Potom o místě maximálního sčítání se rozhodne vřepřetím pro dva body podle vztahu:

$$\Delta U_{fmax} = R_1 \cdot \sum_{k=1}^n l_k \cdot \bar{I}_{ck} \pm X_1 \cdot \sum_{k=1}^n l_k \cdot \bar{I}_{jk} \quad \begin{matrix} IND \\ KAP \end{matrix}$$

Při výpočtu uzlových síti můžeme uvažovat:

- 1) proudové zatížení jednotlivých napájecích
- 2) proudové zatížení v jednotlivých úsecích.
- 3) napívací poměry v jednotlivých úsecích
- 4) místo nejvyššího a nejnižšího napětí
- 5) stavby číselného vyřazení
- 6) poměry ječ vyřazení části síti.

Pro výpočet těchto síti je k dispozici poměrně velký počet metod výpočtu. Budeme se zabývat o jedné z nich, která je vhodná pro zpracování na počítačích - metoda uzlových napětí.



obr. 44

Na obr. 44 vidíme uzly uvalu s m-uzly. Zde jsou  
 sady proudů podél impedancí  $\bar{Z}_{km}$  jednotlivých větví, odlišné proudy  
 $\bar{I}_k$  a odpovídající jedno napětí (obryhle nazýváji místo).  
 Abychom sjednotili seřps prouduškie podélkie admittance.

$$\bar{Y}_{km} = \bar{Z}_{km}^{-1} = \frac{1}{R_{km} + jX_{km}}$$

Z rovnosky uvalu k lze psát:

$$\bar{I}_k + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \bar{I}_{km} = 0$$

Dále pro proud ve větvi k m plet podle Ohmova zákona

$$\bar{I}_{km} = (\bar{U}_k - \bar{U}_m) \cdot \bar{Y}_{km}$$

Dosadíme se  $\bar{I}_{km}$  do vztahu pro rovnosku proudu v uvalu.

Potom bude:

$$\bar{I}_k = - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n (\bar{U}_k - \bar{U}_m) \cdot \bar{Y}_{km}$$

a po úpravě

$$\bar{I}_k = - \bar{U}_k \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \bar{Y}_{km} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \bar{U}_m \cdot \bar{Y}_{km}$$

Seřvedeme současně:

$$\bar{Y}_{kk} = - \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^n \bar{Y}_{km}$$

a tento výsledek nazýváme vlastní uzelové admitance.

Líbíme-li si, že pro  $k$ -tý uzel systému všechny hodnoty vyjádřených z tohoto uzlu do uzlu sousedních (s opačným znaménkem).

$$\bar{Y}_{km} = \bar{Y}_{mk} \quad \text{pro } m \neq k$$

nazýváme recipročnou admitancí.

Pro uzly bezpotenciální souvislosti je rovné  $\bar{Z}_{km}^{-1}$ . Pro ostatní uzly nesouvislosti

$$\bar{Y}_{km} = 0$$

Potom přivedeme rovnici pro  $\bar{I}_k$  lze přepsat do tvaru:

$$\bar{I}_k = \sum_{m=1}^n \bar{Y}_{km} \bar{U}_m \quad \begin{array}{l} \text{pro } k=m \text{ přičteme } \bar{Y}_{kk} \text{ zavedeným způsobem.} \\ \text{pro } k \neq m \text{ přičteme } \bar{Y}_{km} = \bar{Y}_{mk}. \end{array}$$

Tuto poslední rovnici lze přepsat do maticového tvaru.

$$\begin{array}{c|cccccc} \bar{I}_1 & \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} & \dots & \bar{Y}_{1n} & \bar{U}_1 \\ \bar{I}_2 & \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} & \dots & \bar{Y}_{2n} & \bar{U}_2 \\ \bar{I}_3 & \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} & \dots & \bar{Y}_{3n} & \bar{U}_3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \bar{I}_n & \bar{Y}_{n1} & \bar{Y}_{n2} & \bar{Y}_{n3} & \dots & \bar{Y}_{nn} & \bar{U}_n \end{array}$$

Súapříkladíme, že je dno resp. v první uzelu a provádíme systematické.

Jednotlivé submatice označujeme a přivedeme odpovídající

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}^x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{1p} \\ \bar{Y}_{1p,t} & \bar{Y}^x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{U}_{f1} \\ \bar{U}_f^x \end{bmatrix}$$

Řešením získáme dvě rovnice

$$\bar{I}_1 = \bar{Y}_{11} \bar{U}_{f1} + \bar{Y}_{1p} \bar{U}_f^x$$

$$\bar{I}^x = \bar{Y}_{1p,t} \bar{U}_{f1} + \bar{Y}^x \bar{U}_f^x$$

Druhá rovnice umocníme ještě neuvědoma napětí ve všech uzlech  $2 \div n$ :

$$\bar{U}_f^x = \bar{Y}^x^{-1} \bar{I}^x - \bar{Y}^x^{-1} \bar{Y}_{1p,t} \bar{U}_{f1}$$

Podobně v jednotlivých uzlech se uveď 2 rovnice:

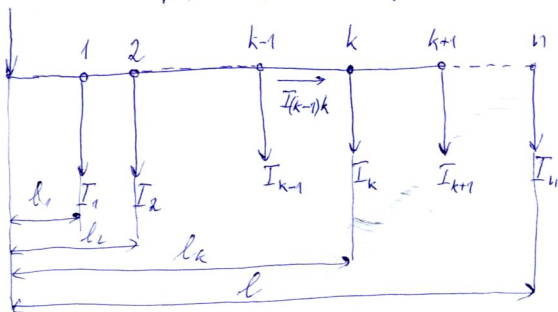
$$\bar{I}_{k(m)} = (\bar{U}_{fk} - \bar{U}_{fm}) \bar{Y}_{km} \quad m \neq k$$

protrže všechna napětí jsme již uveřli.

Jednoduchá vedení stejnosměrná nn, vn.

Tato vedení jsou dvou vodičová, bidirekčně proudy a materiál obou vodičů stejný.

1) Jednoduchá vedení napájení a jediné zatížení - osamělé zatížení.



obr. 45

Je třeba určit max  $\Delta U$  na konci vedení. Postupujeme důstojně a přirozeně:

1) zkontrolujeme všechny napětí v jednotlivých úsecích, zvolíme proudy tečnými tímto úseky. Všechny napětí ověříme v k-tém úseku je

$$U_{(k-1)} - U_k = \Delta U_{(k-1)k} = 2 \cdot \frac{\rho}{S} (l_k - l_{k-1}) I_{(k-1)k} \quad [V, \Omega \frac{mm^2}{m}, \frac{mm^2}{m}, A]$$

Proud v k-tém úseku je dán součtem odcházejících proudů  $I_k \div I_n$ .

$$I_{(k-1)k} = \sum_{y=k}^n I_y$$



Sečeme-li nyní jednotlivé síly od počátku a až do konce této  
ludu celkem dostaneme maximální síly teh napětí.

$$\Delta U_n = \sum_{k=1}^n \Delta U_{(k-1)k} = d \frac{S}{s} \sum_{k=1}^n (l_k - l_{(k-1)}) \cdot \sum_{j=k}^n I_j$$

2) sečeme síly napětí způsobené jednotlivými celky.

$$\Delta U_n = d \frac{S}{s} \sum_{k=1}^n l_k \cdot I_k$$

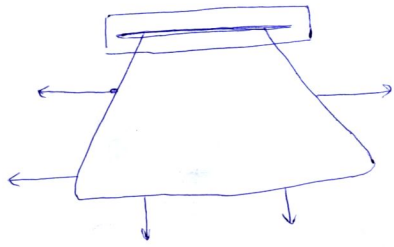
Jeden ideální způsob bude ke stejným výsledkům.  
Součin  $l_k \cdot I_k$  nazýváme ponderijní momentem.

Quocientní síly teh napětí bude:

$$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100 \quad [\% , V, V]$$

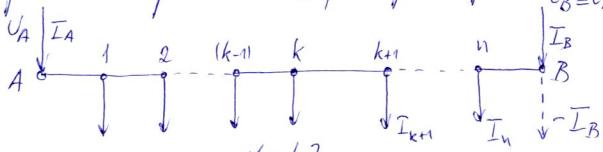
$$\varepsilon = \frac{200 S}{s \cdot U_n} \sum_{k=1}^n l_k I_k$$

Jednotlivé medlemi napětí se dvou stran.



obr. 46

Risimí tohoto případu provedeme předchozím způsobem.  
Vedení pichrovinne podle obr. 47, kde jsme vypracovali  $U_B \equiv U_A$



obr. 47

napětí proud  $I_B$  jeho rovnou záporný odliš  $-I_B$ . Tím jsme dostali případ jednovrstevné napětíového vedení, u kterého je u všech napětí musí napětí nulový ( $U_A = U_B$ ).

Pro u všech napětí musíme psát:

$$\Delta U_{AB} = 0 - U_A - U_B = 2 \frac{\rho}{s} \sum_{k=1}^n l_k \cdot I_k - 2 \frac{\rho}{s} l \cdot I_B$$

z této rovnice lze určit rovnou proud  $I_B$ :

$$I_B = \frac{\sum_{k=1}^n l_k \cdot I_k}{l}$$

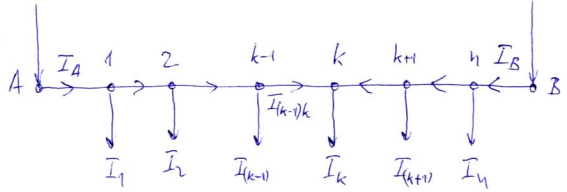
Obdobně pro proud  $I_A$ :

$$I_A = \frac{\sum_{k=1}^n (l - l_k) I_k}{l}$$

Pro oba proudy musíme psát:

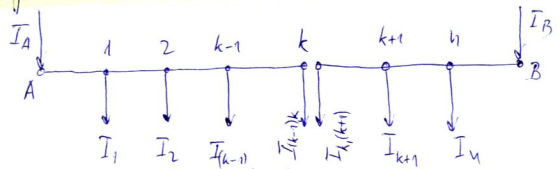
$$I_A + I_B = \sum_{j=1}^n I_j$$

Ukážeme nyní, že obě proudy podíl vedení podle Kirchhoffova zákona viz obr. 48



obr. 48

Vidíme, že na vedení lze najít místo  $k$  které je místem předělu napájení. V tomto místě je nepřetržitý oběh napětí. Vedení lze v tomto místě rozdělit na dvě jednoduché napájecí vedení viz obr. 49.

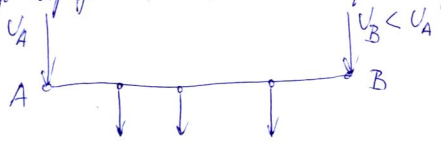


obr. 49

Přímou oděr  $I_k$  je rozloženo na dvě části podle obr. 49.

Jednoduché vedení napájené z jednoho místa -  $U_A \neq U_B$ .

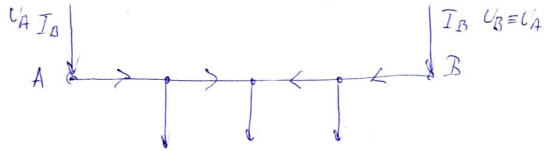
Vedení je napájeno ze dvou nespojitých zdrojů podle obr. 50



obr. 50

Úkol rozřešit na těchto krocích:

- a) Některými způsoby  $U_A = U_B$  a vyjasnit předchozí postup. Dostaneme pondorní rozložení proudů vedení obr. 51



obr. 51

b) Předpokládáme  $U_A \neq U_B$  a máme odlišný jevle obr. 52.

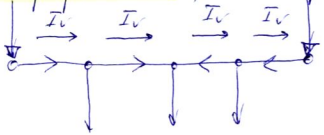


obr. 52

Z místa vyššího napětí teče do místa nižšího napětí zjevná proud  $I_v$ , který je limitován číselně odporem vedení:

$$I_v = \frac{U_A - U_B}{2 \frac{\rho}{s} l}$$

c) Srovnáme superpozici dvou řešení' jevle obr. 53



obr. 53

Dobrý postup je složený' s předchozími případy.

# Zkratky.

Ukolem rozumíme vodiči spjímí fází nebo spjímí jedné fáze se zemí. Impedance takto spjímí je téměř lavna nule při konvém dotyku (dokonalý zkrat) nebo může být relativně velká při spjímí obloukem. Za zkrat považujeme všechna spjímí, která musí být okamžitě odpojena ochranou.

Existují i spjímí, která se nemusejí ihned odpojit od sítě a abychli šlo je - li takové spjímí obdase signalizací. Takovému spjímí říkáme zemní a může se vyskytnout pouze v soustavě s izolovaným nebo s uelou kompenzovaným. Pou- li ovšem v takové soustavě se zemí spjímí dvou živé fáze a to i na různých místech, jde opět o zkrat

## Nepříznivé účinky zkratu:

- nadmírní oteplení zařízení
- nadmírní sílné namáhání různých částí zařízení.
- výpadek nynchevnické sítě a paralelního chodu.
- snížením rádového chodu spotřebičů (zejména motorů).
- porušením sdílených cest
- početky izolace přepětím.

## Důhy zkratu:

v trojfázové síti musí růst

souměrný sheet - při konném dotyhu všech tří fází  
nověji (trojpolový sheet). Postane-li  
současně v místě sheetu spojení se zemí ať  
jisti končí nebo při impedanci, jde rovněž o  
souměrný sheet (trojpolový zemní). V takovém  
sheetu najde spojení se zemí řádný jeon  
a vyšetř se přesně stejní jako trojpo-  
lých sheetu.

Všechny ostatní druhy sheetu jsou nesouměrné.  
nejednotnější jeon

- a) dvojpólový zemní - spojení dvou různých fází a zemí
- b) dvojpólový - při postem spojení dvou různých fází
- c) jednopólový - při spojení jedné fáze se zemí a soustav  
s usměrněným uslem

Současní sheety různých druhů na různých místech  
se rozjazy simultánně. Z nich nejčastěji je dvojitý  
zemní sheet - při spojení dvou různých fází se zemí na dvou  
různých místech síti.

Různé druhy sheetu jsou stejné pravidelně.

V síti v n. neukončené je ~ 65% zemních spojení (stejně rozloženě  
nebo kompenzace), 20% dvojpólových zemních, 10% dvojpólových  
5% trojpolových. V síti <sup>v n.</sup> ER je to 65% zemních spojení, 15%  
dvojpólových zemních, 0% dvojpólových, 20% dvojitých zemních, 14%  
trojpolových zemních.

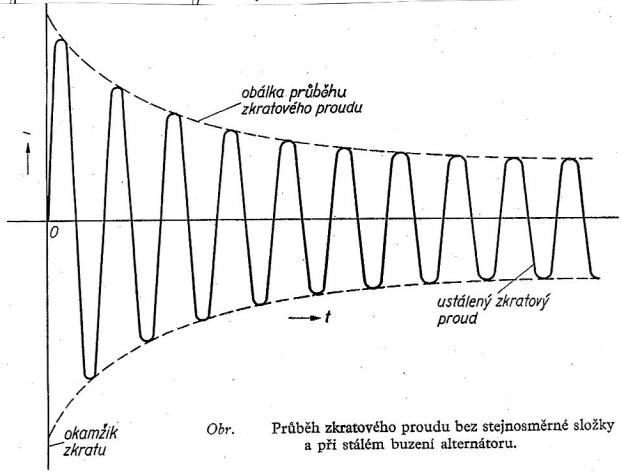
Čím vyšší je hodnota napětí, tím více proudů obklopuje špičky (3)  
jednoduché: ~ 90%

V kabelech má je napětí akce teploty, protože  
oblasti variací je jakéhokoliv akce svedu proud izolaci  
musí být.

neznamená - li se druh akce svedu se specifikuje akce teploty.

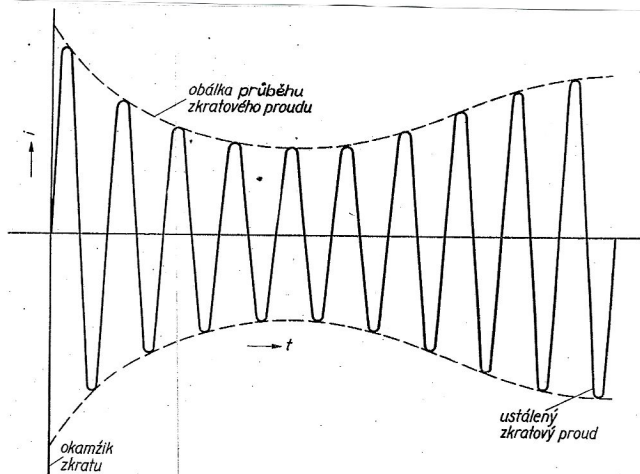
### Časový průběh akce.

V soustavě napětí a alternátor má akce proud  
charakteristický průběh. Je složený 'akce se samotáři'  
složí střídání a se samotáři složí stejnosměrné. Složí  
střídání přijde uholme v 1. 20. ustálený akce proud  
užití velikosti a stejnosměrné složí užití samotáři.  
Průběh akce proudů podle závislosti na tom, zda alternátor  
má nebo nemá regulaci napětí.



Obr. Průběh zkratového proudu bez stejnosměrné složky a při stálém buzení alternátoru.

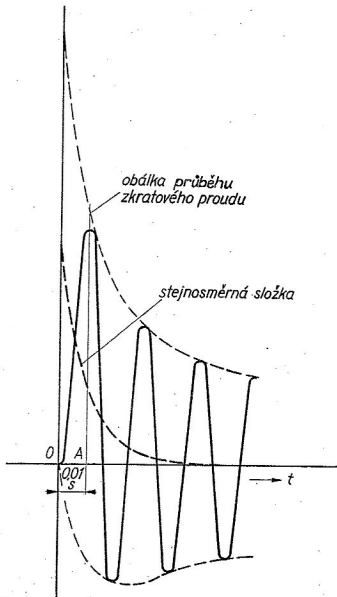
5  
Jom-li alternátor opatřený regulátorem napětí, je počet  
meder na oběžku



Obr. Průběh zkratového proudu bez stejnosměrné složky, má-li alternátor regulátor napětí.

Na obu horních oběžkách je meder pól (idealizovaný),  
kdy vznikla stejnosměrná složka.  
Na oběžku na straně dolní je meder pólů skrotu  
se stejnosměrnou složkou. Je vidět že vlnou ss. složky je pólů  
skrotu proud vyčleněn z osy.



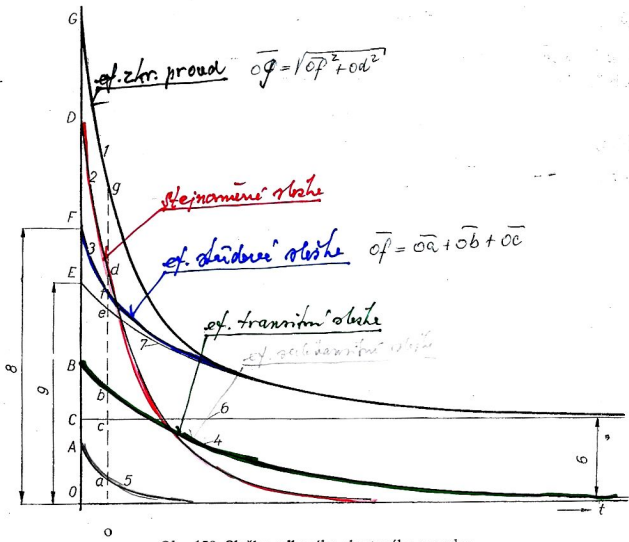


Obr. Začátek průběhu zkratového proudu při největší možné stejnosměrné složce.

La efektivní hodnota stř. složky se v pece považuje okamžitě poradišle obálky skutečného průběhu této složky obálka  $\sqrt{2}$ .  
 Průměr je kvadratický průměr za jeden periodu, je-li uvažovaný okamžik uprostřed m.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t-\frac{T}{2}}^{t+\frac{T}{2}} i^2 dt}$$

kde  $i$  je okamžitá hodnota proudu a  $T$  délka periody.  
 Efektivní hodnota ss složky se v hodnotu okamžité rovná její skuteční hodnotě.



Obr. 158. Složky celkového zkratového proudu;

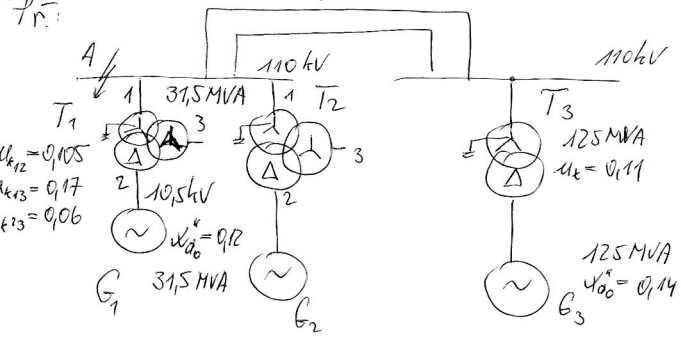
1 ef celkový zkratový proud, 2 stejnosečná složka, 3 ef střídavá složka, 4 ef přechodná (tranzitní) složka, 5 ef přechodnější (subtranzitní) složka, 6 ef ustálená (synchronní) složka, 7 ef přechodný (tranzitní) proud, 8 počáteční velikost ef střídavé složky, 9 počáteční velikost ef přechodného (tranzitního) proudu;

ef střídavá složka  $\bar{of} = \bar{oa} + \bar{ob} + \bar{oc}$ . Ef celkový proud  $\bar{og} = \sqrt{\bar{of}^2 + \bar{od}^2}$ , ef přechodný (tranzitní) proud  $\bar{oe} = \bar{ob} + \bar{oc}$ .

Vypočít pořádkové poměry skutečných a poměrných hodnot jako l.v. odporů a proudů. Ušetř. zanedbatelné odpory.  
 Postup:

- 1) Nakreslíme ~~reálnou~~ schéma síťe
- 2) Do schéma vyznačíme všechny hodnoty napětí, reaktance - - -
- 3) Všechny reaktance (parametry) přeřítíme na jednu hodnotu napětí. Srovnávejme na napětí, kde pracujeme skuteč. poměry.
- 4) Nakreslíme reálnou schéma se všemi reaktancemi.
- 5) provedeme zjednodušení k místu chystu
6. Vypočítáme skutečný proud.

P.r.:



$$X_{10} = \frac{X_{12} + X_{13} - X_{23}}{2} = \frac{0,105 + 0,17 - 0,06}{2} = 0,1017$$

$$X_{20} = \frac{X_{21} + X_{23} - X_{13}}{2} = \frac{0,105 + 0,06 - 0,17}{2} = -0,0025$$

$$X_{30} = \frac{X_{31} + X_{32} - X_{12}}{2} = \frac{0,17 + 0,06 - 0,105}{2} = 0,0625$$