



KEV/SBVSE Výkonové systémy a elektroenergetika

Okruhy otázek		Upřesnění
1.	Spínací elektrické přístroje	Základní typy spínacích elektrických přístrojů, jejich funkce a použití. Třídění dle vypínací schopnosti, přiřazení k napětovým hladinám. Problematika elektrických kontaktů – stykový odpor, tepelné a silové účinky proudu, používané materiály, konstrukční řešení. Princip vypínání ve střídavých a stejnosměrných elektrických obvodech. Používané typy střídavých vypínačů (dle zhasacího média). Základní popis zkratových zkoušek vypínačů a vypínání malých kapacitních a induktivních proudů.
2.	Jištění proti nadproudům a zkratům	Dvě základní metody jištění proti nadproudům a zkratům. Princip obou metod, příklad používaných jisticích prvků a přístrojů. Odvození vypínací charakteristiky elektrického zařízení z jeho oteplovací charakteristiky. Nepřímé jištění v obvodech nízkého napětí, principy a charakteristiky používaných jisticích přístrojů – pojistky, jističe, nadproudové relé. Selektivita.
3.	Přístrojové transformátory, svodiče přepětí	Přístrojové transformátory v členění dle veličiny a užití, základní parametry, používané typy dle fyzikálního principu. Definice přepětí, členění dle doby trvání, aplikace svodičů přepětí. Používané typy svodičů přepětí, konstrukce, základní vlastnosti a charakteristiky.
4.	Provoz elektrických sítí	Rozdělení napětových hladin pro přenos a distribuci elektřiny v ČR. Základní topologie elektrických sítí, jejich provozní vlastnosti a použití. Způsoby provozu sítí z hlediska propojení uzlu transformátoru se zemí, porovnání výhod, nevýhod a technických omezení řešení, používaná zapojení vinutí transformátorů.
5.	Poruchové stavy	Zkrat, časový průběh zkratového proudu. Zemní spojení a vliv uzemnění uzlu na napětové a proudové poměry v síti s jednofázovou zemní poruchou. Porovnání napětových a proudových poměrů v síti se zkratovou poruchou a se zemním spojením.
6.	Elektrická vedení	Pasivní parametry vedení. Provozní vlastnosti venkovních a kabelových vedení. Aktivní parametry, zjednodušené řešení proudových a napětových poměrů na vedení. Odvozené aktivní parametry, zvláštní druhy přenosu. Základní kritéria pro dimenzování průřezu vodičů.
7.	Tepelné elektrárny	Základní principy fyzikálních transformací energie využívaných v energetice, zákonitosti termodynamických přeměn. Plynové a paroplynové elektrárny, termodynamické diagramy, účinnost energetické přeměny. Parní elektrárny, fyzikální princip, bloková schémata, termodynamické diagramy, účinnost energetické přeměny. Jaderné elektrárny, fyzikální princip, bloková schémata, porovnání účinnosti s klasickými tepelnými elektrárnami. Provozní média tepelných elektráren.
8.	Obnovitelné zdroje energie	Přehled, základní principy využití, porovnání účinnosti jednotlivých typů s klasickými zdroji. Vodní elektrárny, fyzikální princip, vlastnosti a konstrukce vodních turbín, princip odvození účinnosti. Využití energie slunce, technické řešení velkých i malých decentralizovaných výroben, nezbytné provozní podmínky a omezení. Větrné elektrárny, konstrukce větrných turbín, nezbytné provozní podmínky a omezení. Denní diagram zatížení a vliv OZE na jeho pokrývání.

9.	Transformátory	Princip transformátoru, hlavní a rozptylové toky, indukované napětí. Náhradní schéma a fázorový diagram. Konstrukční a technologické provedení, mg. obvody. Transformátory v energetice, spojení vinutí, paralelní chod, hodinové číslo, impedance nakrátko.
10.	Asynchronní stroje	Princip ASM, řez strojem, vlastnosti v jednotlivých režimech. Náhradní schéma a energetická bilance ASM.
11.	Synchronní stroje	Princip funkce, řez strojem, typy rotorů, mg. pole, vznik momentu. Náhradní schéma, fázorový diagram. Momentová charakteristika. Fázování, řízení výkonů na síti, samostatný gen.
12.	Základní principy el. strojů	DC motor, typy buzení DC strojů, rozběhy, reverzace, řízení rychlosti. Řez ssM a funkce komutátoru. Náhradní schéma, napěťová rovnice, moment. charakteristika cb. Univerzální komutátorový motor. PMSM, BLDC a další moderní druhy el. strojů.
13.	Usměrňovače a pulzní měniče	Neřízené usměrňovače. Řízené usměrňovače. Reverzační usměrňovače. Pulzní měnič pro snižování napětí. Pulzní měnič pro zvyšování napětí.
14.	Střídače, měniče frekvence a měniče napětí	Napěťové střídače – princip. Řízení výstupního napětí střídačů. Střídavé měniče napětí. Měníče frekvence. Vícekvadrantové měniče.
15.	Řízení otáček stejnosměrných motorů	Regulace otáček stejnosměrných cize buzených motorů. Reverzační měničová skupina stejnosměrných pohonů. Řízení stejnosměrných motorů.
16.	Řízení otáček asynchronních motorů	Přirozená charakteristika asynchronního motoru. Regulace otáček asynchronních motorů. Rozběh a brzdění asynchronních motorů. Jednofázový motor. Skalární řízení asynchronních motorů. Vektorové řízení asynchronních motorů.
17.	Technologie elektroizolačních systémů velkých elektrických strojů, parametry, ztráty	Technologie vinutí transformátorů, systém olej – papír, materiály, parametry. Technologie vinutí točivých strojů, systém VPI, Resin-Rich, materiály, parametry. Způsoby chlazení transformátorů, zalévání vs olej-papír, ztráty. Způsoby chlazení točivých strojů, přímé, nepřímé, ztráty, technologie chladicích kanálů.
18.	Technologie výroby kabelů, materiály, parametry, ztráty	Lanování, extruze, odvíjení, navíjení. Materiály vodičů, pláště, izolace, pancíře, výrobní technologie. Typy kabelů, silové, sdělovací a dal., rozdíly v technologii výroby. Ztráty ve vodičích, ztráty v pancíři, ztráty dielektrické, konstrukce kabelu pro vysoké napětí, velké proudy.
19.	Technologie výroby desek plošných spojů	Technologický postup výroby DPS (obecná výrobní sekvence: realizace vodivých motivů, laminace, vrtání, pokovování, nepájivá maska, popisky, povrchové úpravy). Realizace vodivých motivů (subtraktivní vs aditivní koncepce, fotolitografie, pokovování). Aplikační technologie (sítotisk, šablonový tisk, dispensing). Materiály pro DPS (substráty, vodivé materiály, nepájivé masky, povrchové úpravy).
20.	Technologie pouzření a montáže elektronických součástek	Konstrukce pouzder součástek (funkce pouzdra, SMT vs THT, konstrukční uspořádání pouzder a typy vývodů). Technologie kontaktování v pouzdrech součástek (microwire bonding vs flip-chip, bondování na kuličku a na hranu, chip-on-board). Osazování součástek (základní koncepce osazovacích automatů, balení součástek pro strojní osazování, uspořádání a funkce osazovacích hlav). Technologie pájení a lepení součástek (podstata pájení, pájecí slitiny, ruční vs strojní pájení, vlna vs reflow, intermetalické sloučeniny).

1.	Spínací elektrické přístroje	Základní typy spínacích elektrických přístrojů, jejich funkce a použití. Třídění dle vypínací schopnosti, přičlenění k napětovým hladinám. Problematika elektrických kontaktů – stykový odpor, tepelné a silové účinky proudu, používané materiály, konstrukční řešení. Princip vypínání ve střídavých a stejnosměrných elektrických obvodech. Používané typy střídavých vypínačů (dle zhášecího média). Základní popis zkratových zkoušek vypínačů a vypínání malých kapacitních a induktivních proudů.
----	------------------------------	--

Základní typy elektrických přístrojů

- **Spínací** - spínací, stykač, vypínač, odpojovač...
- účel: zapnutí/vypnutí obvodu
- **Ochranné, jističí** - pojistka, jistič, proudový chránič
- účel: ochrana
- **Měřicí** - měřicí trafů U a I
- **Řídicí, regulační** - regulátor, ovladač

Třídění dle vypínací schopnosti - napětové hladiny

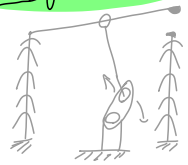
- **Hladiny v ČR** - mn - do 50V
- nn - 60 - 1000V
- vn - 1kV - 52kV
- Vvn - 52 - 300kV
- Zvn - 300 - 800kV
- Uvn - 800kV+

- **nn** - spínací - vypínací síť / I_{jn}
- odpinací / zapínací - průmysl, rozvodny / nadproud
- nezlabné zkrat / nadproud
- stykač - motory, časté spínání
- jistič - vypínací ochrana / zkrat

- **Vvn** - Odpojovač - spíná se jen při $I=0$ / bez vypínací schopnosti
- aby chom videli rozpojovan síť
- Odpináč - vypíná běžné zatížen síť / I_{jn}
- Stykač - motory, časté spínání / nadproud
- Vypínáč - ochranný přech síť / zkrat

- **Vvn** - odpojovač / uzemňovač / bez vypínací schopnosti
- Vypínáč - ochranný přech síť / zkrat

Odpojovač / uzemňovač



Elektrické kontakty

- není to ideální spojení, plochy se dotýkají mikroskopicky jen v bodech

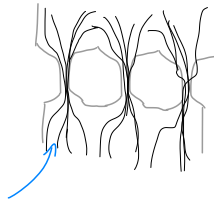
→ Stykový odpor

- 1) Přechodový odpor

- proud se musí stlačit do malých přechodových bodů

- 2) Odpor povrchových vrstev

- na povrchu jsou nečistoty, vlhkost



- Oxidace - na kontaktu vzniká tenká oxidová vrstva

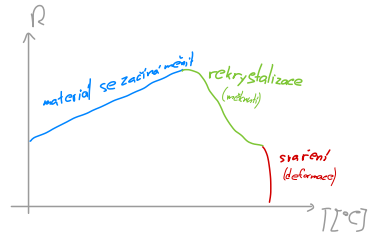
- silné přitlačení kontaktu → tunelování → vede to

- Požadavky na materiál - nízký odpor

- vysoká vodivost (Ag, Cu)

- odolnost proti oblouku a svařčení (W, Cr)

- Povlakování kontaktů - Ag, Au, W, Cr



- Konstrukce - nožové



- lamelové - několik nožových vedle sebe

- válcové

- kartáče

Vypínání v AC a DC obvodech

- DC - hlavní zhasení oblouku (má proud stejnou polaritu → je neprotékavý)

- zhasení - 1) Prodloužení oblouku (sníží zhasení)



2) Rozdělení oblouku



3) Magnet. vyfukování (vytláčení do zhasení komory)

- AC - při každém průchodu nulou se zhasí ($i=0$)

Typy stínákových vypínačů (dle zhaseného média)

SF₆ vypínač

1) kontakty se rozpojí → oblouk

2) Ohřívá SF₆ plyn → rozroste má tlak

3) Plyn se fakticky zpět na oblouk → zhasnutí

Vakuumový vypínač

- je v něm vakuum → oblouk hned zanikne (není, co ionizovat)

Základní popis zkratových zkoušek vypínačů

- jestli vypínač zvládne zkrat

1) Svodný zkrat - vznikne v rozvodně $\rightarrow I_k$

2) Bližší zkrat na vedení - vznik na vedení $\rightarrow < I_k$

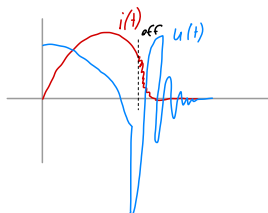
Vypínání malých C a L proudů

- malé indukční proudy

1) Vypínač vyne

2) Energie tlumivky se vybijí do C paraz $\rightarrow LC$ oscil

3) $\rightarrow$ kmitání

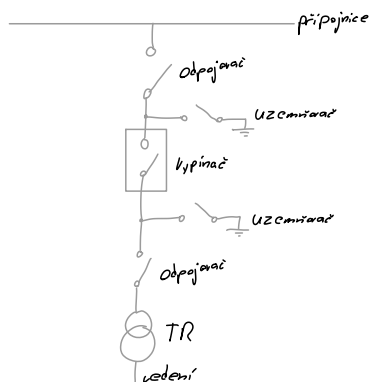
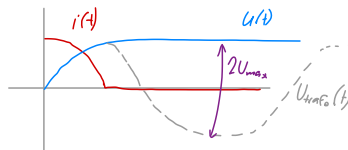


- malé C proudy

1) Vypínač vyne

2) C je nabito (např. na U_{max})

3) na straně zdroje běží sinus
na odpojené straně je náboj v C } rozdíl U
(o. $2U_{max}$)



2.	Jištění proti nadproudům a zkratům	Dvě základní metody jištění proti nadproudům a zkratům. Princip obou metod, příklad používaných jisticích prvků a přístrojů. Odvození vypínací charakteristiky elektrického zařízení z jeho oteplovací charakteristiky. Nepřímé jištění v obvodech nízkého napětí, principy a charakteristiky používaných jisticích přístrojů – pojistky, jističe, nadproudové relé. Selektivita.
----	------------------------------------	---

Dvě základní metody jištění

- přímé - sledujeme přímo teplotu (vodíče, trať...)

- nepřímé - sledujeme proud a z něj usuzujeme ohřev

Principy

- přímé - Bimetal = dva kovy s různou tepelnou roztažností

→ při zahřátí se ohne a sepnou kontakt

- tepelné jištění, čidla motorů

- Termistory NTC, PTC

- Nepřímé - Pojistka (nadproudy, zkrat) - 1) Zahřátí lamelno vodiče

2) Roztavení

3) Vznik oblouku (přesad to vede)

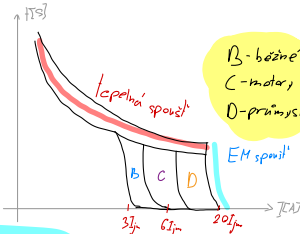
4) Oblouk ohřívá krátkenní písek

- ten se totiž... bere mu tím teplo

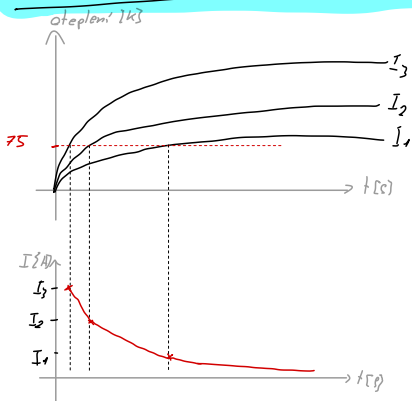
→ oblouk zhasne

- Jistič - el. mag. spoušť

- tepelná spoušť



Odvození vypínací char. z oteplovací



Neprímé jističe v nn

- triedy jističov
 - B - bežné (3-5 I_n)
 - C - motory (5-10 I_n)
 - D - veľké stroje (20 I_n)

- Zhasenie - zhasací komory

- Nadprúdové rele - merí prúd a vyhodnocuje, jestli má vypínač vyrenanť

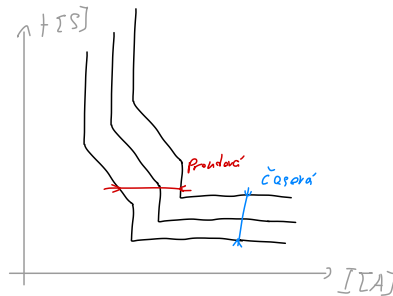
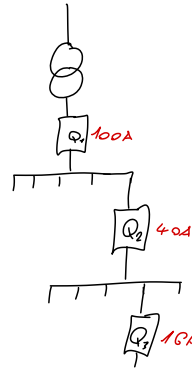
- Pojistka - obrovská vypínací schopnosť

Selektivita

= Pri poruše vypne jen ochrana najbližie poruše

- Prúdová - každý jistič má jistou prúdovú citlivosť
(1GA nesadí celý objekt)

- Časová - každý jistič má jiné zpoždění



Přístrojové transformátory, svodiče přepětí	Přístrojové transformátory v členění dle veličiny a užití, základní parametry, používané typy dle fyzikálního principu. Definice přepětí, členění dle doby trvání, aplikace svodičů přepětí. Používané typy svodičů přepětí, konstrukce, základní vlastnosti a charakteristiky.
--	---

Přístrojové transformátory

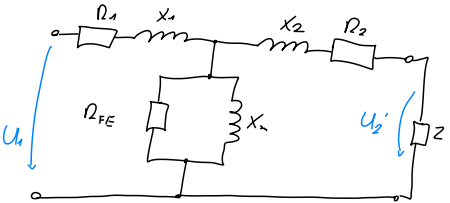
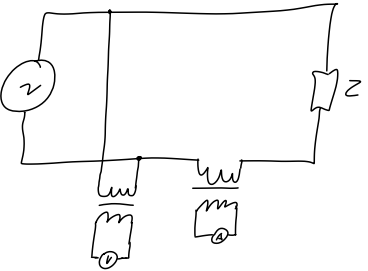
- k měření / chránění obvodů s velkým U nebo I

- tam, kde nepřipojíme normální V / A

PTN (napěťové) - $22kV \rightarrow 100V$
 $110kV \rightarrow 100V$

PTP (proudové) - $600A \rightarrow 5A$
 $1000A \rightarrow 5A$

funkce měřicí - přesné elektrometry
jističů - správná funkce i při poruše



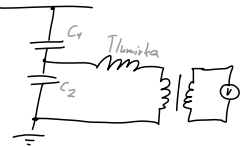
Typy dle fyzikálního principu

U, I - Induktivní - PTN... U - pro vysoké U je drchý (400kV)

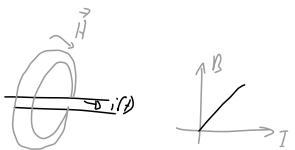
- PTP... I - primár je jen vodič

U - Kapacitní - nejčastěji dělič z kapacit

- pro velké U



I - Rogovského cívka - Cívka okolo vodiče (diky $\mu_r = 1$ je char. lineární)



U, I - Hallův jev

Definice přepětí ($U > U_n$)

- doby trvání - dočasná - sekundy až hodiny

- Zemní spojení v izolované síti

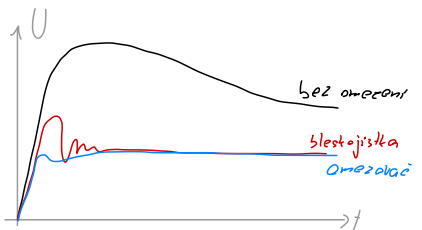
- přechodná - μs až ms

- Atmosferická (blesk), U_i , spínací (typnutí reléem)

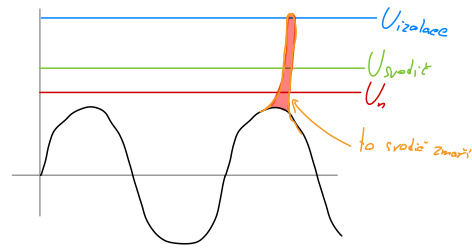
→ nebezpečné

- Trvalá - trvá dlouho

- chyba trafů



- Ochrana
- 1) Izolární hladina zařízení - každé zařízení něco zvládne
 - 2) Zemnicí lana - vodiče nad fázovými
- světelný blesk
 - 3) Svodiče přepětí



- Typy svodičů přepětí

1) Jiskřiště - dvě elektrody oddělené vzduchem

- při přepětí se vzduch prorazí a U_n se svede do země

- Problém - oblouk může trvat i po odeznění blesku $\rightarrow$ zkrat do země



2) Ventilová bleskojistka - odstraní

- Setravné jiskřiště + nelineární odpor (SiC ... málo strme)

- Odpor omezí proud $\rightarrow$ sníží energii oblouku

$\rightarrow$ při nejbližším průchodu nabu oblouk zhasne



3) Omezoač přepětí - moderní

- ZnO varistor - Normální - Prázdné napětí $\rightarrow$ Obrovský odpor $\rightarrow$ Proud neteče

- Přepětí - Napětí $\uparrow$ $\rightarrow$ odpor prudce $\downarrow$ $\rightarrow$ Proud do země

$\rightarrow$ je velmi silný, nepotřebuje jiskřiště

4.	Provoz elektrických sítí	Rozdělení napěťových hladin pro přenos a distribuci elektřiny v ČR. Základní topologie elektrických sítí, jejich provozní vlastnosti a použití. Způsoby provozu sítí z hlediska propojení uzlu transformátoru se zemí, porovnání výhod, nevýhod a technických omezení řešení, používaná zapojení vinutí transformátorů.
----	--------------------------	---

Napěťové hladiny v ČR

MN - do 50V

NN - 50 až 1000V → 220 a 400V

VN - 1kV až 52kV → 22 a 35kV

UVN - 52 až 300kV → 110kV, 220kV

ZVN - 300 až 800kV → 400kV

UVN - 800kV a více

Přenosová soustava nad 110kV (220 a 400)

- přenos výkonu na velké vzdálenosti

Distribuční síť - 110kV → 22kV → 220/400V

Základní topologie el. sítí

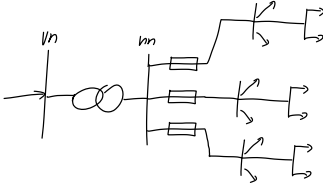
Radialní (paprsková)

- napájení z jedné strany

- levné, jednoduché, spolehlivé

- Při poruše je odberatel bez proudu

- Použití: Vesnice

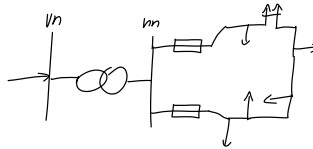


Okružní síť

- napájení zleva i zprava

- spolehlivější (jde i při poruše)

- Použití: Města, 110kV rozvod

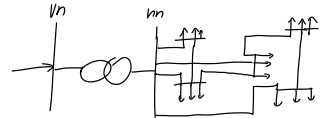


Uzlová

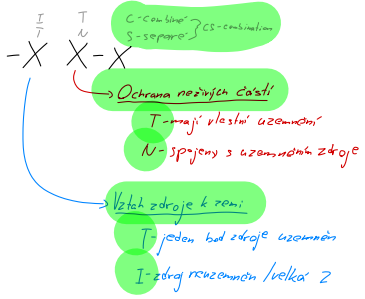
- každý uzel propojen s více uzly

- nejlepší, ale drahé

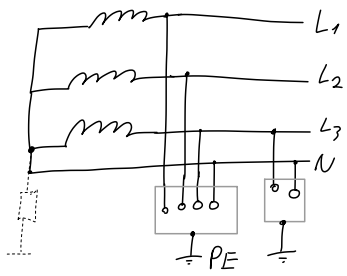
- Použití: Průmysl, centra měst



Dělení dle uzemnění uzlu

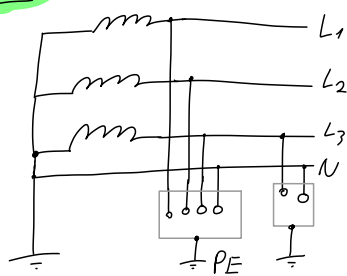


I-T



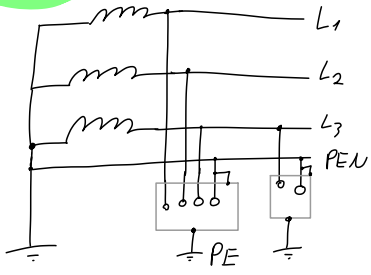
- Uzel zdroje izolován od země
- První porucha to nevyne
- Spolehlivě → nebezpečie

II



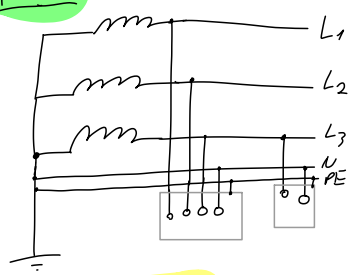
- První porucha to vyne
- Velký odpor zemnicí smyčky → jistič často nezareaguje
- Potřeba RCD

TN-C



- spojení PE+N
- Přerušeni PEN → na kaskádě Up → velmi nebezpečie
- nejde zde mít RCD

TN-S



- dnes standard
- lze použít RCD
- bezpečie

5.	Poruchové stavy	Zkratý, časový průběh zkratového proudu. Zemní spojení a vliv uzemnění uzlu na napětové a proudové poměry v síti s jednofázovou zemní poruchou. Porovnání napětových a proudových poměrů v síti se zkratovou poruchou a se zemním spojením.
----	-----------------	---

Zkratý

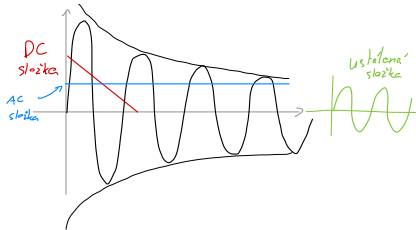
- skládá se z AC složky

DC složky

- když nastane zkrat ve špatném okamžiku

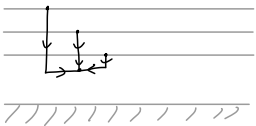
- indukčnost musí držet spjatý proud

- když vznikne zkrat v $i=0$, tak $i_{DC}=0$

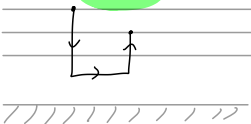


- druhy -

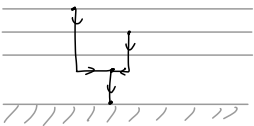
$3f$ (souměrný)



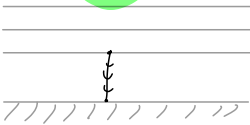
$2f$



$2f$ zemní



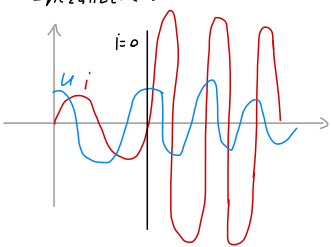
$1f$



- průběhy - Ideální vzdálení zkrat

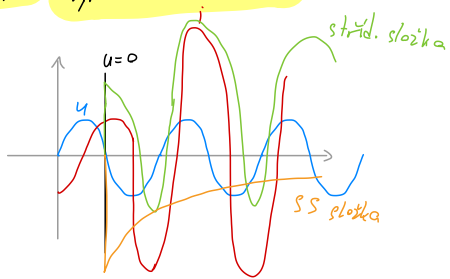
- neruší DC složka (nastal v $i=0, U=\max$)

- necatizované vedení $\rightarrow L$ charakter



Nejhorší vzdálení

- vypnutí v $U=0, I=\max$



Zemní spojení (fáze + zem)

- v síti IT - trafo není spjato se zemí

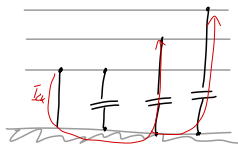
1. porucha

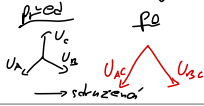
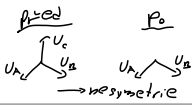
$\rightarrow$ Při poruše fáze A se I_{L_A} uzavře skrz kapacitu zdánlivých fází vůči zemi:

$\hookrightarrow$ je velmi malý $\rightarrow$ síť dál běží

$\hookrightarrow$ na zdánlivých fázích vznikne $U_n = \sqrt{3} \cdot U_f$

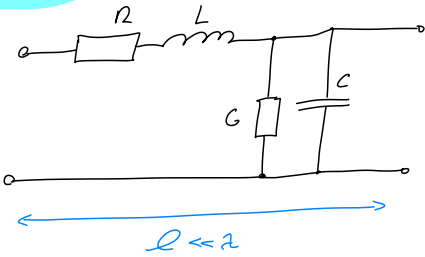
2. porucha $\rightarrow 2f$ zkrat



	neuzemnění	uzemnění
	<u>Zemní spojení</u>	<u>Zkrat</u>
Napětí v místě poruchy		
Upravená	nezmění se	klesne (v celé síti)
Průřezové parametry	Přípustný proud	Velký → snižuje výkon
Charakter	C	R+L

6.	Elektrická vedení	Pasívní parametry vedení. Provozní vlastnosti venkovních a kabelových vedení. Aktivní parametry, zjednodušené řešení proudových a napěťových poměrů na vedení. Odvozené aktivní parametry, zvláštní druhy přenosu. Základní kritéria pro dimenzování průřezu vodičů.
----	-------------------	---

El. vedení



$R[\Omega/\text{km}]$ - měrný cenný odpor

$L[\text{H}/\text{km}]$ - měrná průřezová indukčnost

$C[\text{F}/\text{km}]$ - měrná průřezová kapacita

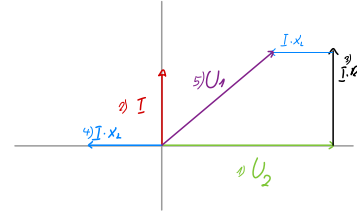
$G[\text{S}/\text{km}]$ - měrný směr

- Odvozené parametry - komplexní podélná impedance: $\bar{Z} = R + j\omega L$

- komplexní příčná admittance: $\bar{P} = G + j\omega C$

- Vlnová komplexní impedance: $\bar{Z}_W = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{P}}}$

- Přenosová konst.: $\bar{P} = \sqrt{\bar{Z} \cdot \bar{P}} = L + jB$



Průřezní vlastnosti

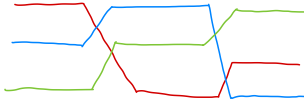
- do 110 kV - Cu, Al, Fe

- od 220 kV - kombinace $\text{Al} + \text{Fe}$

- Transpozice - vyrovnání L a C jednotlivých fází

- Venkovní vedení - hlavně $R + L$

- Kabelové vedení - hlavně C mezi vodiči



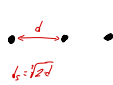
Uspořádání vodičů

Trojúhelník



- složité

Rovina



$d_2 = \sqrt{3}d$

Svažkové



- $U_{VN}, 220 \text{ kV}$

- jedna fáze tvoří několik podvodičů

- menší koróna, menší L

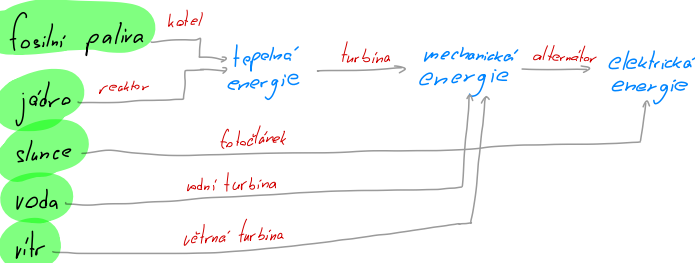
Indukčnost vedení

$$L_p = 0,46 \cdot \log \cdot \frac{d_3}{r} + 0,05 [\text{mH}/\text{km}]$$

r - poloměr vodiče

- LC vlastnosti: $f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

Základní principy transformací



uhlí - 1 tuma $\rightarrow$ 1 MWh
voda - 4 tuma $\rightarrow$ 1 MWh

Zákon

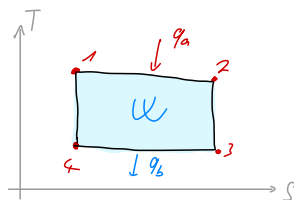
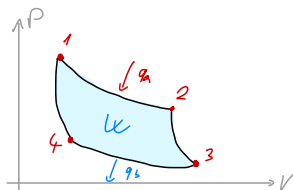
- Stavová rovnice ideálního plynu: $pV = nRT$

- 1. termodynamický zákon: Energie nemůže vzniknout, jen se přeměnit

- 2. termodynamický zákon: Teplo jde z teplejšího tělesa na chladnější

- Carnotův cyklus

- ideální tepelný oběh s max. účinností



1 $\rightarrow$ 2: Izotermická expanze - plyn přijímá teplo
 $\rightarrow$ koná práci

2 $\rightarrow$ 3: Adiabatická expanze - objem dál roste, klesá p i T
 $\rightarrow$ dál koná práci, ale bez přísunu tepla

3 $\rightarrow$ 4: Izotermická komprese - plyn odvádí teplo q_2

4 $\rightarrow$ 1: Adiabatická komprese - plyn stlačujeme dál, ale silou
 $\rightarrow$ teplota roste

Adiabatický děj - plyn nepřijímá ani nedává teplo

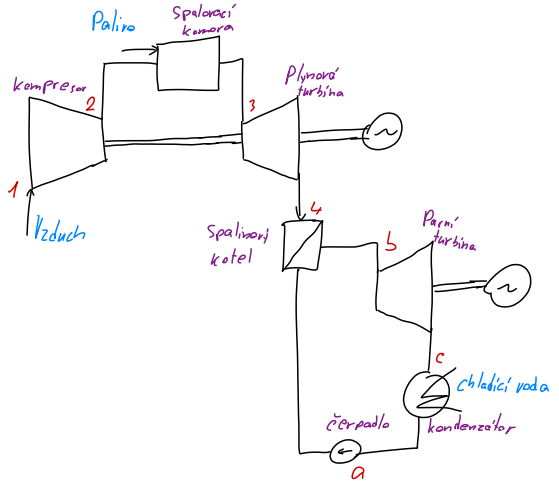
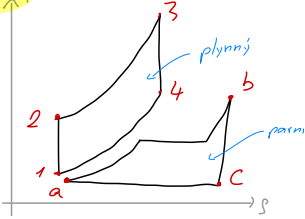
Izoterma - $T = \text{konst.}$
- mění se objem } přijímá / odevzdává teplo

Plynová elektrárna (a paraplyn)

Plyn - Spaliny po průchodu turbínou odejdou do komína
 → velká část tepla se využije... $\eta = 30 - 40\%$

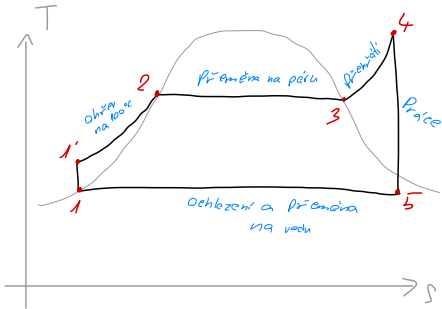
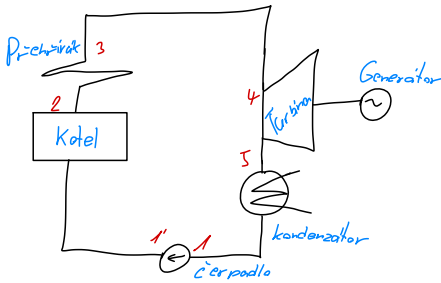
Paraplyn - teplo spalin se využije k výrobě páry

$\eta = 60\%$



Parní elektrárna

$\eta = 40\%$



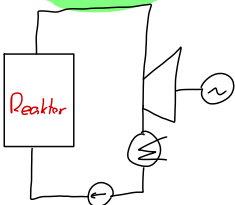
Jaderná elektrárna

- Princip - podobný jako topalné, ale teplo vzniká štěpením těžkých jader (U-235)

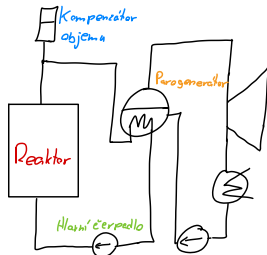
- Specifikace: Účinnost nižší (30-35%)
 - žádné CO2 emise
 - velká investice

- 1) Napájecí čerpadlo zvyšuje tlak vody → adiabatické stlačení
- 2) Kotel - voda se izobaricky ohřeje
- 3) Přehřívák - sytá pára se přehřeje → roste T = izobarický děj
- 4) Turbína - Pára adiabaticky expanduje → koná práci
- 5) Kondenzátor - Pára se ochladí a přemění na vodu

Jednoduchá



Dvojitá



- Teplo z primárního okruhu ohřívá, přehřívá, vodu i sekundární okruh
 - Kompensátor objemu udržuje stálý tlak

8.	Obnovitelné zdroje energie	Přehled, základní principy využití, porovnání účinnosti jednotlivých typů s klasickými zdroji. Vodní elektrárny, fyzikální princip, vlastnosti a konstrukce vodních turbin, princip odvození účinnosti. Využití energie slunce, technické řešení velkých i malých decentralizovaných výroben, nezbytné provozní podmínky a omezení. Větrné elektrárny, konstrukce větrných turbin, nezbytné provozní podmínky a omezení. Denní diagram zatížení a vliv OZE na jeho pokrývání.
----	----------------------------	---

Přehled

- Fotoroltaika - $\eta = 15 - 20 \%$

- Solární tepelná - $\eta = 30 \%$

- Větrná - $\eta = 45 \%$

- Vodní - $\eta = 90 \%$

Vodní elektrárna

- dělení dle spádu

Nízkotlakové ($< 20m$)

Středotlakové ($20 - 100m$)

Vysokotlakové ($> 100m$)

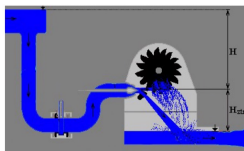
- typy turbin

- Pelton

- ramotlakové (akční)

- voda dopadá tryskou na lopatky

- vysoké spády, malé průtoky



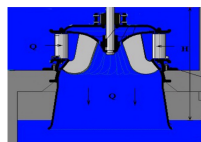
Obr. 9.7: Princip Peltonovy turbíny

- Francis

- voda vstupuje radiálně a odhazuje axiálně

- univerzální, nejrozšířenější

- regulace natočením lopatek



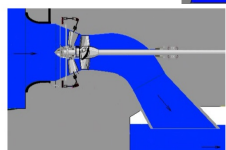
Obr. 9.5: Princip Francisovy turbíny

- Kaplan

- axiální

- malé spády, velké průtoky

- dobrá regulace



Obr. 9.6: Princip Kaplanovy turbíny

- účinnost:

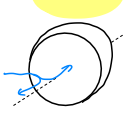
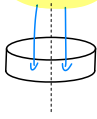
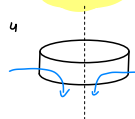
$$\eta = \eta_o \cdot \eta_h \cdot \eta_m = 85 - 90 \%$$

účinnost (pointing to η_o)
hydraulická ztráta (pointing to η_h)
mechanická ztráta (pointing to η_m)

Francis

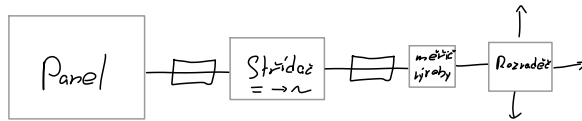
Kaplan

Pelton

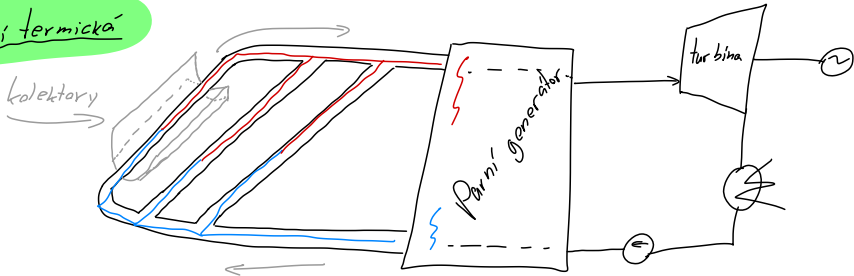


Sluneční elektrárny

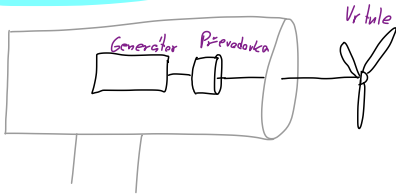
Fotovoltaická



Solární termická

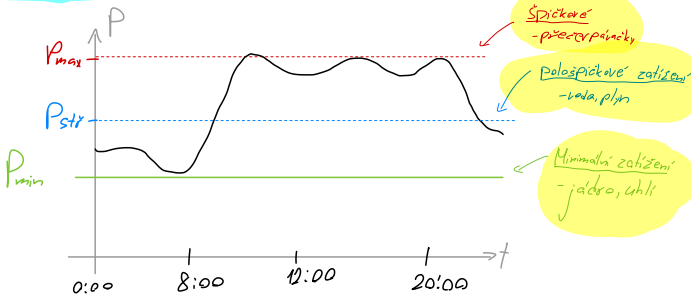


Větrná elektrárna



- 3-5 m/s - slabý vítr
- 3-15 m/s - $P \approx v^3$ (prudký růst)
- 15-25 m/s - udržujeme konst. P regulací
- 25 m/s + - vylnutí (moc silné)

Denní diagram zatížení



Transformátory	Princip transformátoru, hlavní a rozptylové toky, indukované napětí. Náhradní schéma a fázorový diagram. Konstrukční a technologické provedení, mg. obvody. Transformátory v energetice, spojení vinutí, paralelní chod, hodinové číslo, impedance nakrátko.
----------------	--

- Transformátor

- el. netočivý stroj, přeměňuje hladiny U a I

- Princip el. mag. indukce

- Transformátorový poměr: $\rho = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$

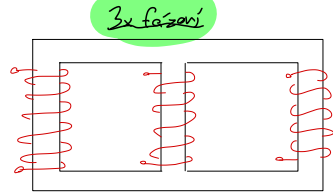
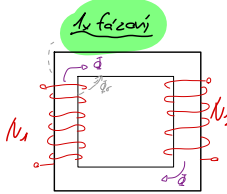
- $\oint \frac{d\vec{B}}{dt} = 1 \oint \vec{E} \cdot d\vec{l}$; $f = \text{konst.}$

- Jádrové mag. obvody

- 2 sloupky, na kterých jsou vinutí

- Jednoduché, levné

- Φ jde jedním směrem $\rightarrow$ vyšší $\Phi_{\text{rozptyl}} = \Phi_r$



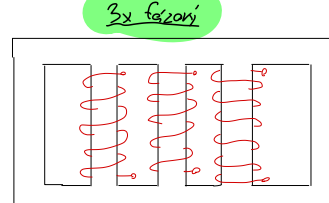
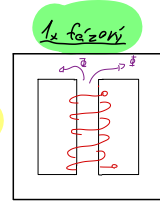
- Pláštěvé mag. obvody

- Cívky jsou uvnitř magnet. obvodu, ten je obklopuje

$\rightarrow$ na sobě

- Jádru má více větví, kudy Φ prochází $\rightarrow$ menší Φ_{rozptyl}

- Dražší, horší chlazení

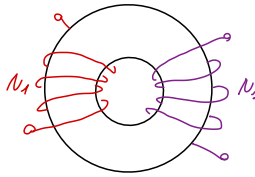


- Toroidní magnet. obvody

- Velmi nízký Φ_{rozptyl} , nízké ztráty

- Lehký, kompaktní

- Nátáčejí na výřubu



Základní rovnice

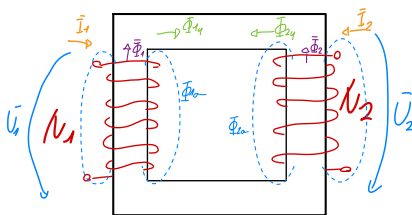
$$\Phi_1 = \Phi_{1m} \cdot \sin(\omega t) \quad \left| \frac{d}{dt} \right|$$

$$\frac{d\Phi_1}{dt} = \Phi_{1m} \cdot \omega \cdot \cos(\omega t) \quad \left| \frac{d\psi}{dt} = U_1, \psi = \Phi \cdot N \right|$$

$$u(t): U_1 = \Phi_{1m} \cdot N_1 \cdot \omega \cdot \cos(\omega t)$$

$$U_m: U_{1m} = \Phi_{1m} \cdot N_1 \cdot \omega$$

$$U_{ef}: U_1 = \Phi_{1m} \cdot N_1 \cdot \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \cdot f$$

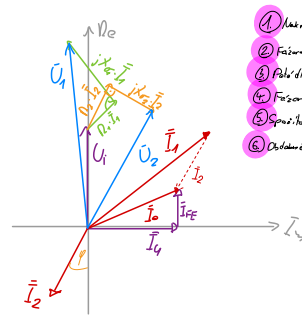
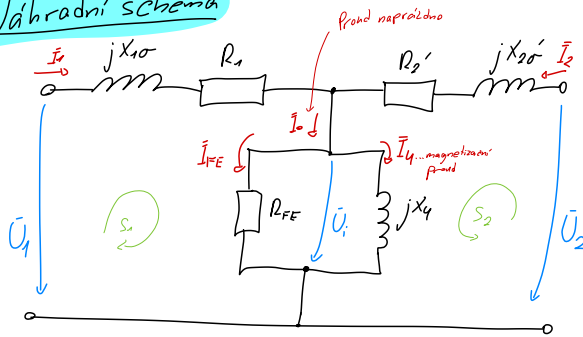


$\vec{\Phi}_1, \vec{\Phi}_2$ - magnet. tok ($\vec{\Phi} = \vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_2$)

Φ_{11}, Φ_{22} - hlavní magnet. tok

Φ_{12}, Φ_{21} - rozptylový magnet. tok

Náhradní schéma



- ① Náhradní U_1, I_0, I_{FE}
- ② Fázorový součet voltáží $\vec{U}_1$
- ③ Polohy φ kosa arit. $\vec{I}_2$
- ④ Fázorový součet voltáží $\vec{U}_2$
- ⑤ Společný vektor na R_1 a $X_{1\sigma}$ $\rightarrow \vec{U}_1$
- ⑥ Odčítání: $\vec{U}_2$

Romice: $\vec{U}_1 = \vec{I}_1 \cdot (jX_{1\sigma} + R_1) + jX_4 \cdot (\vec{I}_1 + \vec{I}_2)$

$\vec{U}_2 = \vec{I}_2 \cdot (jX_{2\sigma} + R_2) + jX_4 \cdot (\vec{I}_1 + \vec{I}_2)$

Hodinové číslo - fázový posun mezi primárem a sekundárem
- udává se v hodinách ($0:30 = 30^\circ$)

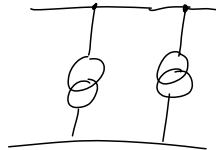
Paralelní chod - 1) Shodný sled fází

2) Shodné hodinové číslo

3) Shodný převod (jmen. I_{N1} a I_{N2})

4) Shodné Z

5) Poměr výkonů max 3:1



10.	Asynchronní stroje	Princip ASM, řez strojem, vlastnosti v jednotlivých režimech. Náhradní schéma a energetická bilance ASM.
-----	--------------------	---

Princip

Stator - 3f vinutí v drážkách
- po zapnutí vytvoří totéž mag. pole

Rotor - klec nakrátkolomův kotva
- šité drážky, pro lepší průběh proudu

Rozběh - Připojí se 3f napětí na stator → totéž mag. pole (U_m)
- siločáry statoru protínají radiálně rotoru
- v rotoru poteče proud I_2
- vytvoří se totéž mag. pole rotoru (U_{m2})
- vznik momentu: $M = U_{m1} \times U_{m2}$

Sluz - Statorové pole se točí rychleji než rotor

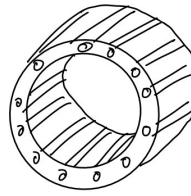
$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \leftarrow \begin{matrix} \text{rotor} \\ \text{stator} \end{matrix} \text{ (otáčky)}$$

$$n_2 = s \cdot n_1 \leftarrow \text{otáčky statorového pole}$$

$\leftarrow$ rychlost točivého pole rotoru

Rotor nakrátko

Klecova kotva - rotor je z vodičů tyčí v drážkách železného rotoru
- Tyče jsou na koncích propojené dotáčkou
- není zde kluzný kontakt



Rozběh - velký rozběhový proud (rotor je do krátko)
- rotor odebírá velký I , aby rotor roztáčil

(Schůzenci přidáním rozběhového zařízení (soft-start)... sníží U

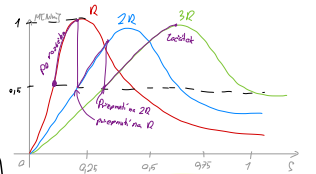
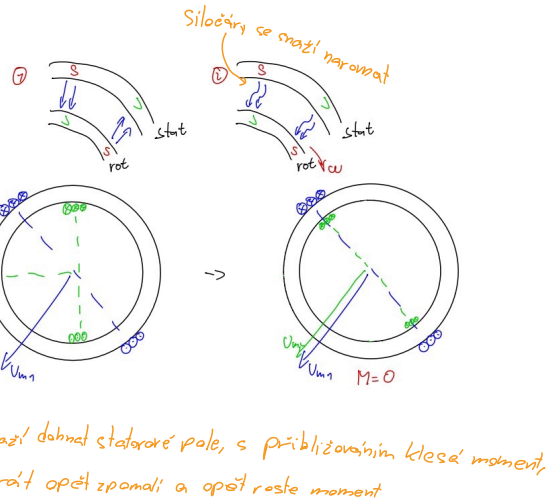
- leme, lehčí vysoká $\gamma \rightarrow$ pro menší zařízení

Vinutí rotor

Vinutí kotva - rotorové vinutí je připojeno na 3 sběrné kroužky
- kroužky jsou přes kartáče propojeny s měřím dovedem

Rozběh - při zapnutí se kartáče s RL kombinací přitlačí na kroužky
- omezení rozběhového proudu
- vysoký rozběhový moment
- při jmen. otáčkách se kartáče odpojí = kotva nakrátko

- využití pro velké výkony

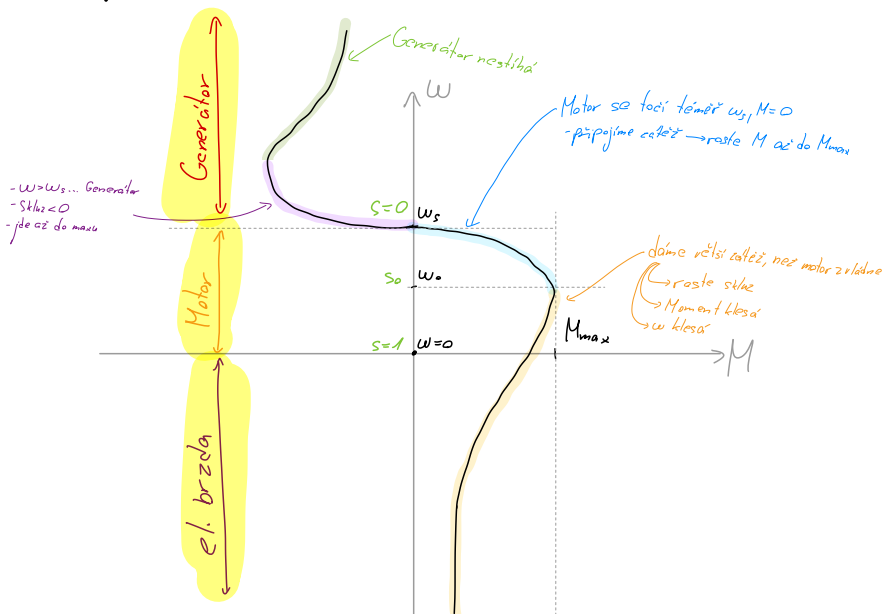


Připínáme R od nejvyššího... ze začátku je nastavený M křm (libu → 1)

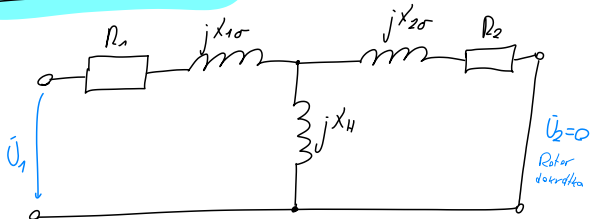
... Po roztáčení je obtož málší, správný

→ fungují jako odpor
→ dají se plynule měnit = regulace dávek

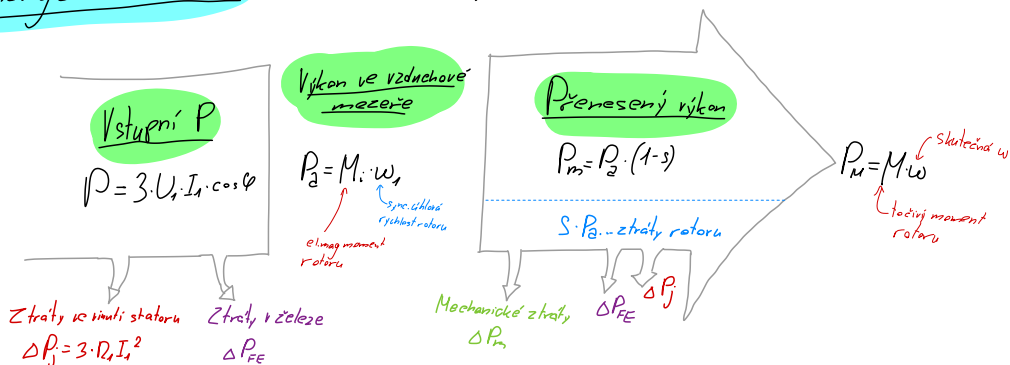
Vlastnosti v jednotlivých režimech



Náhradní schéma



Energetická bilance = tok výkonu od napájení až po výkon na hřídeli



11. Synchronní stroje	Princip funkce, řez strojem, typy rotorů, mg. pole, vznik momentu. Náhradní schéma, fázorový diagram. Momentová charakteristika. Fázování, řízení výkonů na síti, samostatný gen.
-----------------------	---

Princip funkce

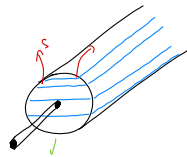
- **Stator** - 3f vinutí $\rightarrow$ točivé magnet. pole
- **Rotor** - vlastní magnet. pole (SS buzení / perm. magnety)

$\rightarrow$ Rotorové pole se zamkne do statorového a obě se sync. rychlostí

Typy rotorů

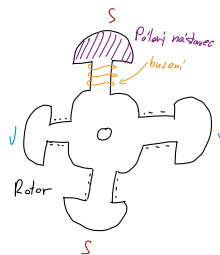
- Hladký rotor (Turboalternátor)

- tepelné / jaderné elektrárny
- válcový (průměr 1m), dlouhý
- málo pólsů $\rightarrow$ rychloběžný (3000 ot/min)

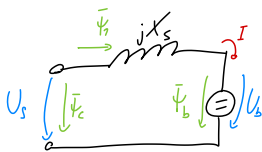


- Vyniklé póly (Hydroalternátor)

- vodní elektrárny
- velký průměr, 100ty pólsů $\rightarrow$ pomalá rotace



Náhradní schéma



U_s - napětí dodávané do statoru

U_b - napětí indukované z rotoru do statoru

- drží sync. chod... 1) Zvyšší se $\cos \varphi$ $\rightarrow$ ztratí sync.

2) Zvyšší se I ($I = \frac{U_s - U_b}{jX_s}$)

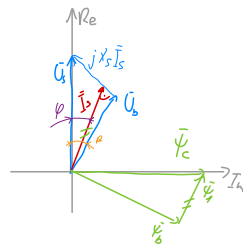
3) I je „síla“ co motor vrátí do sync.

Podbuzený rotor

- platí: $U_b < U_s$ a $\cos \varphi > 0$

- motor není moc buzený $\rightarrow$ chce více I ze sítě $\rightarrow$ zvyšuje zátěž ze sítě

$\hookrightarrow$ L charakter

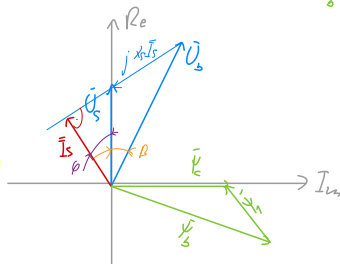


Přebuzený rotor

- platí: $U_b > U_s$ a $\cos \varphi < 0$

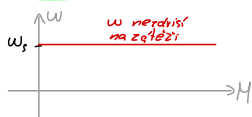
- Motor má moc jádrového výkonu, chce ho vrátit do sítě... kompenzátor

$\hookrightarrow$ C charakter

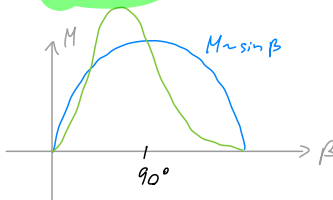


Charakteristiky

Momentová char.



M-β char.



- Při zatížení se rotor zpozdíuje
- Úhel Rotor-stator = β
- M_{max} je při 90° , poté vypadne ze sym.
- Hladký rotor
- Vymikle' pol'y - pro větší moment

Fázování (připojení na síť)

- Podmínky - 1) Stejný sled (pořadí) fází

2) $\omega_s = \omega_g$

3) $U_s = U_g$

4) $\varphi_s = \varphi_g$

Řízení výkonů na síti

Činný výkon - řídí se mech. výkonem turbíny

Reaktivní výkon - řídí se buzením (viz. výše)

Samostatný generátor

- není připojen na síť

→ nic mu nedrží U a f

- potřebujeme regulátor obětek ($n = \frac{60p}{p}$)

- potřebujeme regulátor buzení (aby $U = \text{konst.}$)

12.	Základní principy el. strojů	DC motor, typy buzení DC strojů, rozběhy, reverzace, řízení rychlosti. Řez ssM a funkce komutátoru. Náhradní schéma, napěťová rovnice, moment. charakteristika cb. Univerzální komutátorový motor. PMSM, BLDC a další moderní druhy el. strojů.
-----	------------------------------	---

Stejnasměrný motor

- **Princip** - Stator - polární soustava

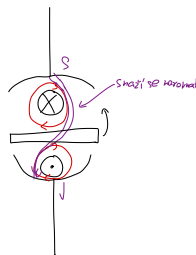
- tvoří stat. magnet. pole

- **Rotor** - vinutí v drážkách

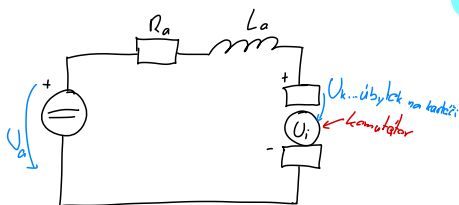
- spojeno s komutátorem → to je pak skrz kartáče spojeno s vnějším

- **Komutátor** - mechanicky přepíná (obrací) proud v rotoru

- bez něj by se po pulotáčce zastavil



- **Náhradní schéma** -



Rychlost motoru $\omega \rightarrow$ úměrná U_i

$$U_a = U_i + R_a I_a$$

$$U_i = k \Phi \omega$$

$$M = k \Phi I_a$$

větší $I_a \rightarrow$ větší U_i

$$U_a = R_a I_a + k \Phi \omega \rightarrow \omega = \frac{U_a}{k \Phi} - \frac{R_a I_a}{k \Phi}$$

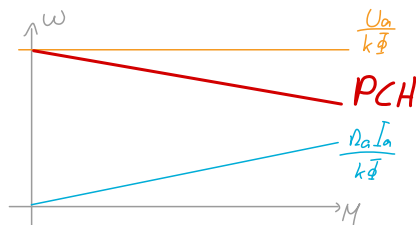
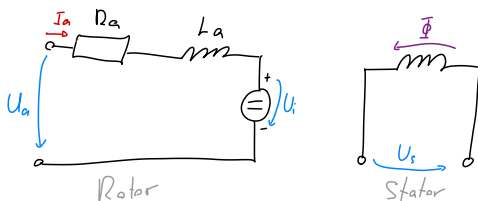
úbytek, když (M) dodatelný moment

- **Druhy buzení**

- **Cizí buzení** - Stator je napájen z ext. zdroje $\rightarrow \Phi = \text{konst.}$

- jednoduché řízení

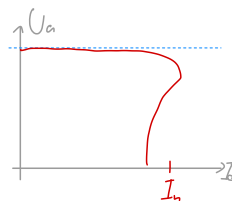
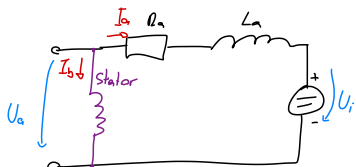
- lineární momentová char.



- **Derivační buzení** - Stator je paralelně s rotorem

- stroj se umí nabíjet sám (dynam.)... jen první podběhnutí musíme udělat my

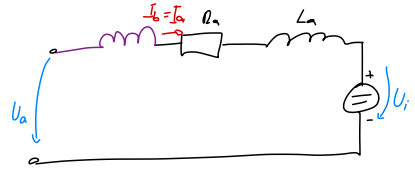
- od určitého I_a už se nedokáže držet nabízení $\rightarrow$ spotřebu U_b



- Sériové buzení

- $P_{\text{rotor}} = P_{\text{rotor}} = P_{\text{statoru}}$
- Při zapnutí ($U_i = 0$) teče velký I buzením i kotlou
 - $I_s \sim \Phi$, ale tedy, i $I_a \sim \Phi \rightarrow U_i = k \Phi \omega$
- Pro roběhy tramají, vlaků

$$M = k \Phi I = k I^2$$



Univerzální komutátorový motor

- Sériový SS motor upravený tak, aby šel na DC i AC

- Proč jde i na AC?

- Stator i kotla je protékán AC proudem
 - ve stejnou chvíli se změni polarita AC na statoru a na kotlě
- Velmi vysoké otáčky, velký M_{max}
- malý, lehký
- Opatřebaní kartáčů
- Použití: Vřtačky, brusky, vysavače, ...

PMSM = permanent magnet synchronous motor

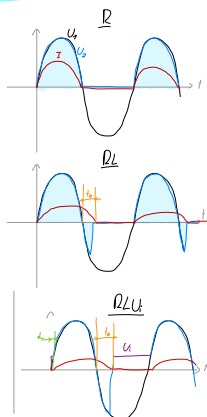
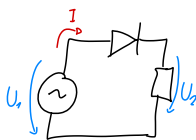
- Rotor - z PM
- Stator - klasické 3f vinutí
- nemusíme budít rotor → žádné kartáče

BLDC = brushless DC motor

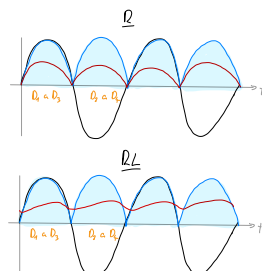
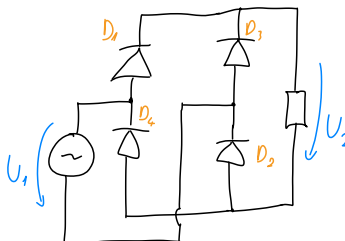
- bezkartáčový DC → nástupce běžného DC
- Rotor - z PM
- Stator - vinutí, které se po krocích spíná dotola

Neřízené usměrňovače

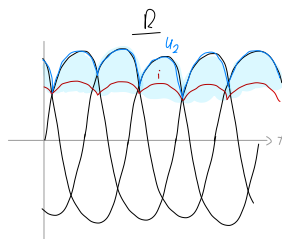
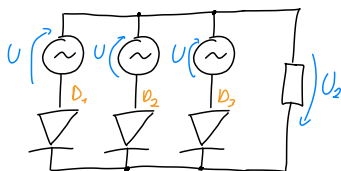
1f uzlový



1f můstkový



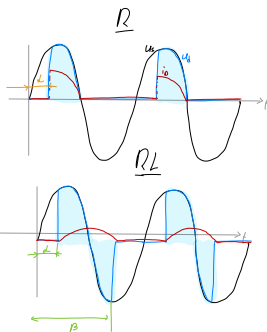
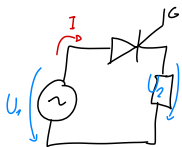
3f uzlový



Řízené usměrňovače

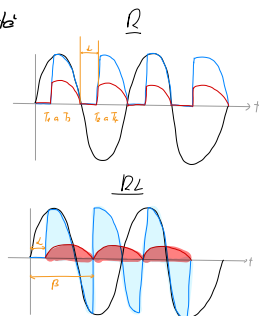
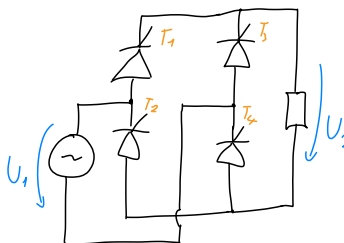
- řídký úhel α - okamžitá převrácení T během pulzů
- $\uparrow \alpha \Rightarrow \downarrow U_d$

1f uzlový

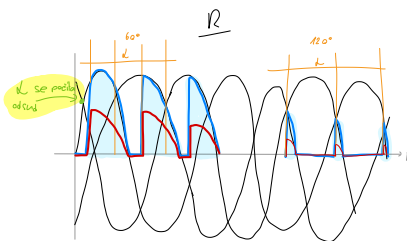
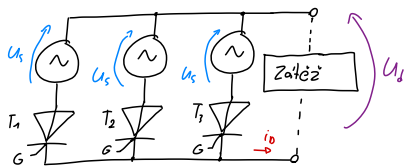


1f můstkový

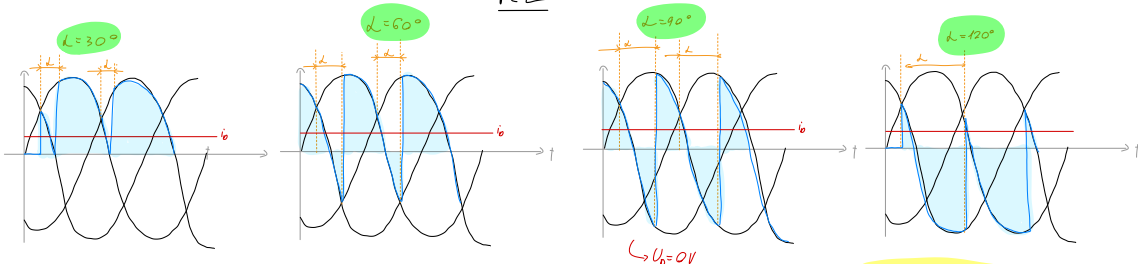
- RL - při vysoké L bude I nepřetržitá



3f uzlavy



RL



Režimy práce usměrňovače

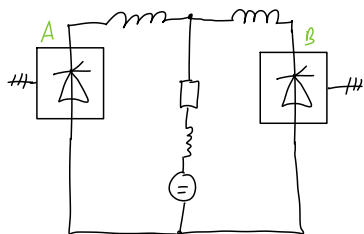
- Jednosměrný usměrňovací režim
 - energie jde ze sítě do SS zátěže
 - usměrňovává s $L < 90^\circ$

- Střídavý (invertorový) režim

- energie může téct i opačně
- usměrňovává s $L > 90^\circ \rightarrow$ charakter střídavé

Reverzační usměrňovače

- umožňují proud i ve III. a IV. kvadrantu $\rightarrow$ 4 kvadrantové
- RU a NU jsou jen v I. a II. kt.



Blok A - $L < 90^\circ \dots +U_d, +I_d \rightarrow \text{I.}$

- $L > 90^\circ \dots -U_d, +I_d \rightarrow \text{II.}$

Blok B - $L < 90^\circ \dots -U_d, -I_d \rightarrow \text{III.}$

- $L > 90^\circ \dots +U_d, -I_d \rightarrow \text{IV.}$

III.

$\oplus U_d \} \oplus P_d$
 $\ominus I_d \} \oplus P_d$

- obrátěná rekupervace

$\ominus U_d \} \oplus P_d$
 $\ominus I_d \} \oplus P_d$

- obrátěný chod motoru
(jeden naopak)

IV.

U_d

I.

$\oplus U_d \} \oplus P_d$
 $\oplus I_d \} \oplus P_d$

- klasický usměrňovává

$\ominus U_d \} \oplus P_d$
 $\oplus I_d \} \oplus P_d$

- Střídavý režim
 $\rightarrow$ energie teče zpět do zdroje (rekupervace)

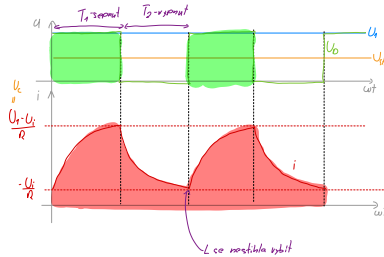
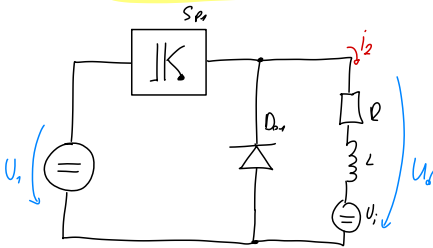
II.

Pulzní měnič pro snižování napětí = Buck

T_1 - dodáváme proud z U_1 a nabíjíme L

T_2 - nabítená L se vybijí skrz D_{on} → dodává energii motoru i při výplechu S_{p1}

→ Snižují s potřebou U_1 (s DS 50% je $U_{1dr} = 0,5 U_1$)



$$U_d = U_1 \cdot \frac{T_1}{T_1 + T_2}$$

Pulzní měnič pro zvyšování napětí = Boost

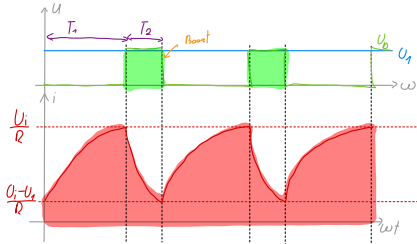
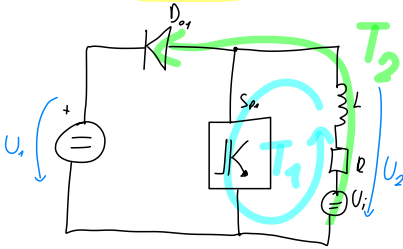
T_1 - sepnutí S_{p1}

- U_1 nabíjí L

T_2 - vypnutí S_{p1}

- L se snaží udržet proud → vytváří napětí (sečte se s U_1) → Boost... $U_2 = U_1 + U_L$

↳ otevření diody → proud teče do zdroje ($U_2 > U_1$) → recuperace



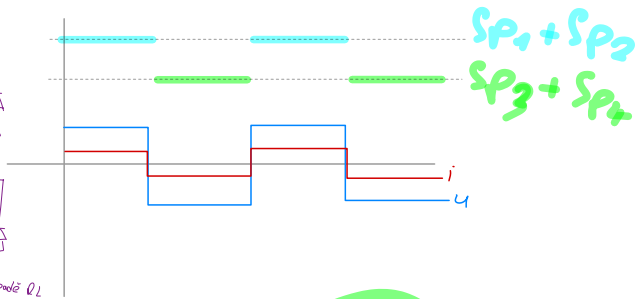
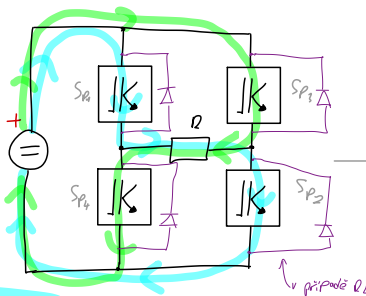
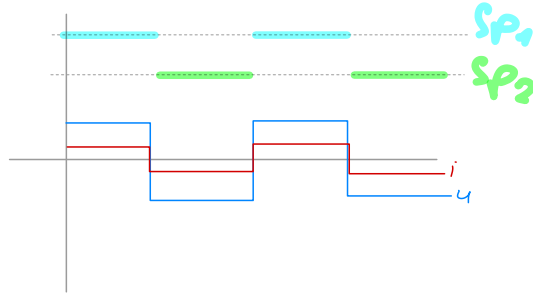
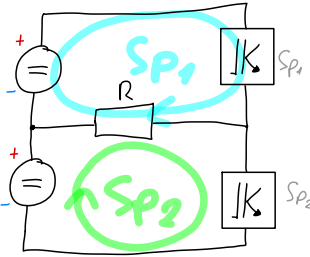
$$U_d = \frac{T_1 + T_2}{T_2} \cdot U_1$$

14.	Střídače, měniče frekvence a měniče napětí	Napětové střídače – princip. Řízení výstupního napětí střídačů. Střídavé měniče napětí. Měníče frekvence. Vícekvadrantové měniče.
-----	--	---

Napětový střídač

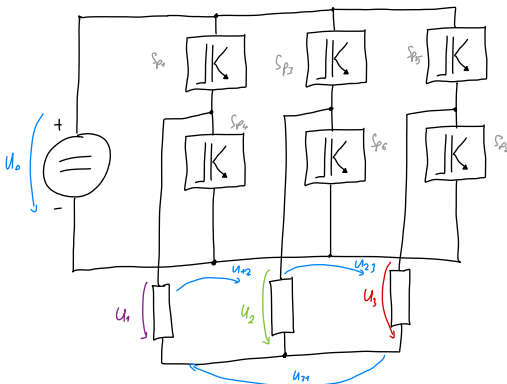
- převod SS na stříd. napětí

- Princip - vytvoří stříd. napětí přepínáním + a - pólu SS zdroje



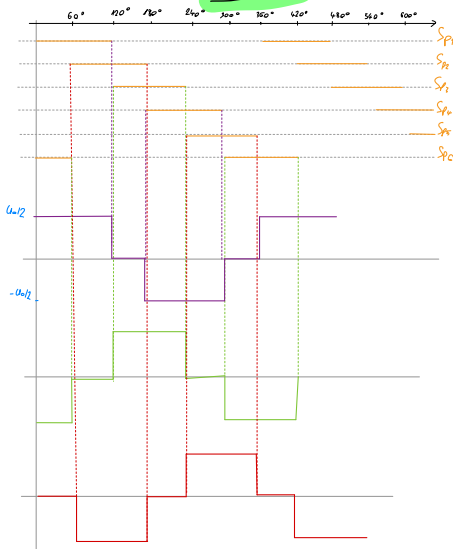
3f městkový

$\psi = (60^\circ; 180^\circ)$ *smazáme se byt sp1 u 180°*



$$U_1 = \frac{1}{3} (u_{12} - u_{31})$$

Pro $\psi = 120^\circ$



Rízení výstupního napětí střídaců

- **Dílný řízení** - změna U_{ef} dle potřeby $\rightarrow$ regulace

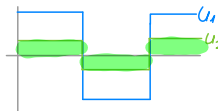
- změna frek. a tvaru (obdél./s.m)

$\hookrightarrow$ zlepšení účinnosti a dynamiky systému

- **Amplitudové řízení** - změna amplitudy napětí na výstupu

- nulovost zdroje s $U \neq \text{konst.}$ (dnes moc nejsou)

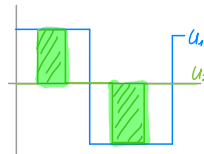
- jednoduché, zastaralé



- **Šířkové řízení** - změna šířky spínacích pulzů $\rightarrow$ změna průměrného výstupu

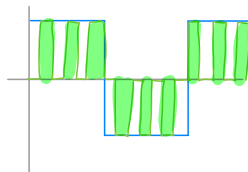
- umožňuje sinový průběh

- kvalitnější, menší ztráty



- **Šířkové pulzní** - podobné, ale častější spínání

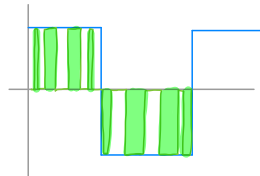
- více pulzů za periodu $\rightarrow$ lepší regulace



- **Šířkové pulzní řízení** - pokračující než

- pulzy mají nepravidelnou šířku $\rightarrow$ jsou modulovány pomocí sin reference

- při použití správného filtru je na výstupu téměř sin signál



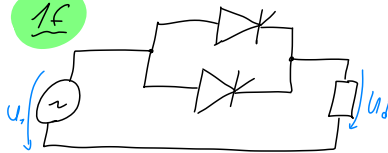
Střídavé měniče napětí

- **plynulá regulace napětí**

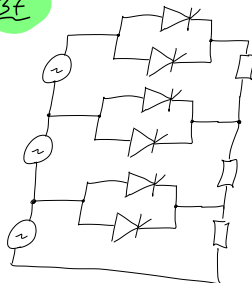
- u R zátěže lze řídit v rozsahu $<0; \pi>$

- u RL zátěže jen v $<0; \pi>$... musí se vybit L

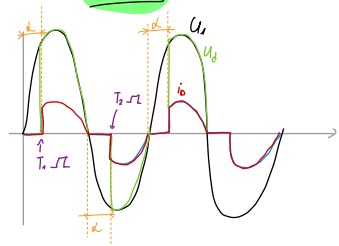
1f



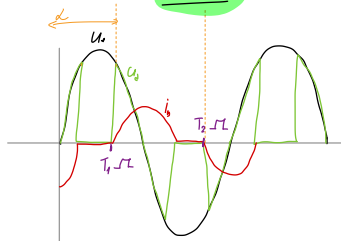
3f



R zátěž



RL zátěž



Měníče frekvence

- řízení rychlosti stříd. motorů

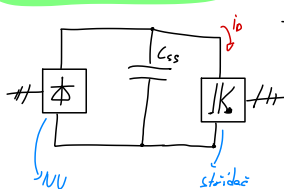
- Príme - Pomocí tyristorů přepíná jen část sinusové na výstup

- nepotřebují mezikobud

- historie

- Nepríme - stříd. napětí se usměrní a poté rozštědí na novou frekv.

- S napětovým mezikobudem



- C_{cs} drží $U = \text{konst.}$

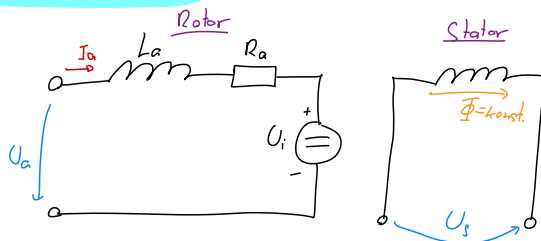
ukládá energii a vrací ho do systému

- Usměrnovač - stáčí napětí

- v případě rekuperace ze střídavě
D do mezikobudu (změnit energii tam)
usměrňuje s reverzací
 $p_{\text{prům}} = 4 Q$

15. Řízení otáček stejnosměrných motorů	Regulace otáček stejnosměrných cize buzených motorů. Reverzační měničová skupina stejnosměrných pohonů. Řízení stejnosměrných motorů.
---	--

Cize buzený SSM



$$U_a = U_i + R_a I_a$$

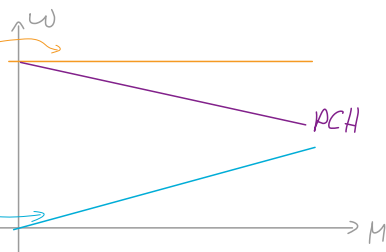
$$U_i = k \Phi \omega$$

$$M = k \Phi I_a$$

$$\omega = \frac{U_a}{k \Phi} - \frac{R_a I_a}{k \Phi}$$

otáčky naprázdno ($I_a = 0$)

odřezek otáček, když motor dávná M

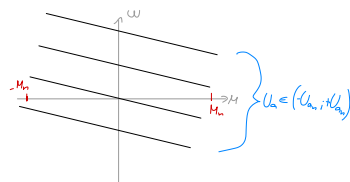


Regulace otáček cize buzených SSM

$$\omega = \frac{U_a}{k \Phi} - \frac{R_a I_a}{k \Phi}$$

1) Řízení napětím - změna napětí kolny

- možnost reverzace otáček
- lineární (ztráty konst.)

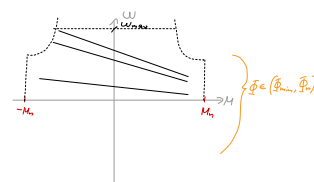


2) Řízení tokem - snižuje se buzení → vyšší otáčky

(snižím $\Phi \rightarrow \omega$ musí být větší aby se udržela konstanta $U_i = k \Phi \omega$ při $U_i = konst.$)

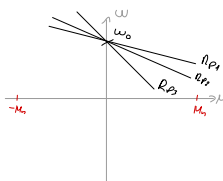
- Riziko odbuzení → $\omega = \infty$

- $P = M \cdot \omega \rightarrow$ při zvýšení ω klesá M

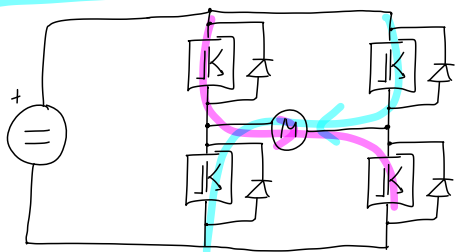


3) Řízení přidáním odporu - do obvodu kolny dát odpor

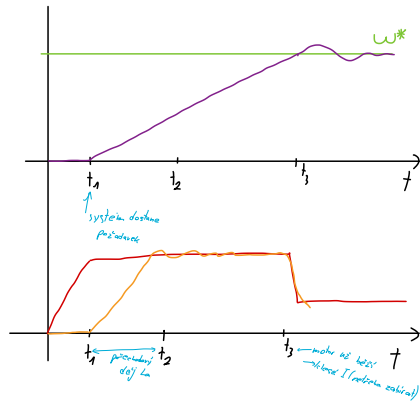
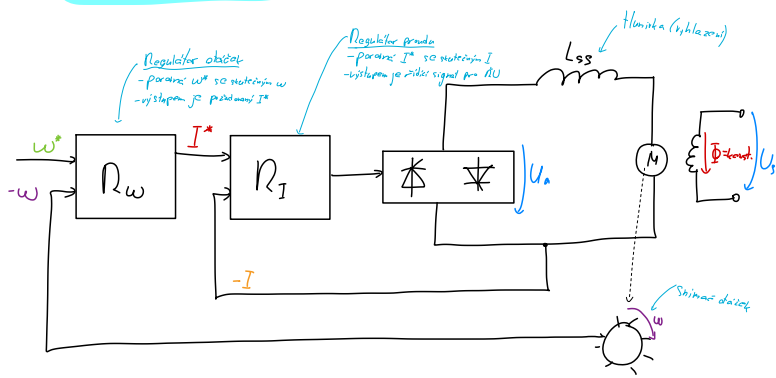
- zvýším ztráty → stave'



Reverzační měničová skupina SS motoru

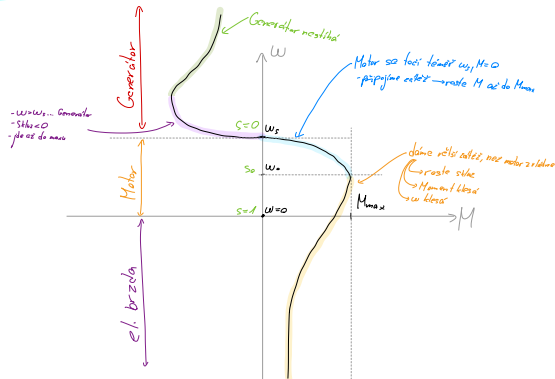


Řízení SS motoru



16. Řízení otáček asynchronních motorů	Přirozená charakteristika asynchronního motoru. Regulace otáček asynchronních motorů. Rozběh a brzdění asynchronních motorů. Jednofázový motor. Skalární řízení asynchronních motorů. Vektorové řízení asynchronních motorů.
--	--

Momentová charakteristika AM



Regulace otáček AM

- synchronní otáčky: $\omega_s = \frac{2\pi f}{p}$; $n_s = \frac{60f}{p}$

1) Změna napájecího napětí

- $U^2 \approx M \rightarrow$ snížím $U \rightarrow$ klesne $M \rightarrow$ trochu klesnou otáčky

2) Změna počtu pólů

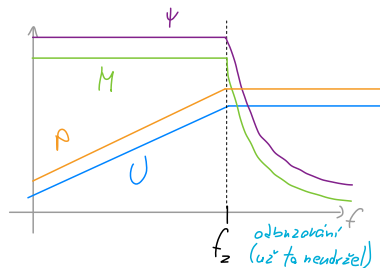
- Mechanické přepnutí vinutí statoru

→ skoková změna n_s

3) Změna frekvence

- $f \approx n_s$, ale když změním f , změní se Φ v jádře

→ $\Phi \approx \frac{U}{f}$... musím držet $\Phi = \text{konst.}$ (úloha frekv. měniče)



4) Změna skluzu

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

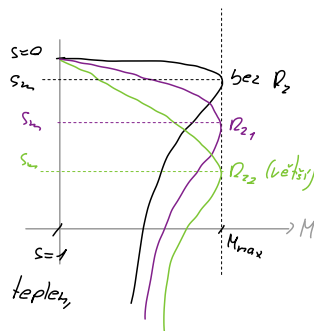
a) Odporová regulace

- do vinutí rotoru dáme reostat

↑ R_z ↑ ~ ↑ s ↑ → ↓ n ↓

b) Měníč v rotoru

- zachycení výkonu ze skluzu se neprotí teplem, ale odčerpá se



Spouštění AM

1) Přímé připojení

- problém je $5-7 \times I_{jn}$ → hrozí pokles napětí v síti

2) Spouštění sníženým napětím

→ omezi se přetížení sítě, ale i moment

a) Tlumička

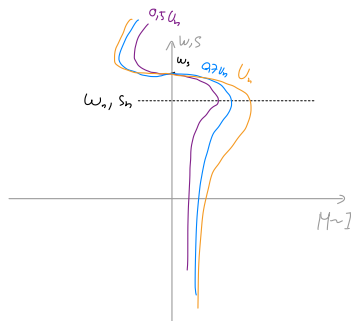
b) Autotrafo - přepínání úrovní

c) Δ/Δ - napřed Δ , pak Δ

d) Impedance v rotoru - přidání $\tan R$

e) Soft starter

$$I_{rozbeh} \sim U$$
$$U^2 \sim M$$



Brždění AM

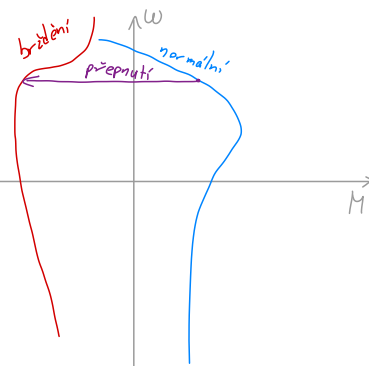
1) Protiproudem

- Motor se zastaví olovcím směrem magnet. pole

→ velký brzdový proud... nutnost přidat R

- Při dosažení $\omega = 0$ se musí odpojit (roztočil by se opačně)

- Rychle ale ztrátové



2) Rekuperaci

- Rotor se dostane do nad synchronních okrajů ($s < 0$) → chová se jako generátor a vrací energii

- Potřebujeme manév, který umí energii přijmout (práce v II. kv.)

- do nadsync. obvodu ho dostaneme změnou frekv. statorového pole ($59 \rightarrow 58.42, \dots$)

- dodáváme činný výkon, ale jalový stále odebíráme (pro magnet. pole)

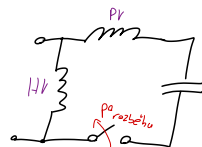
Jednofázový AM

- Rozběh - neroztočí se sám (1 f. vinutí má jen pulzující magnet. pole)

- Točivé magnet. pole → pomocné vinutí - to se umístí v prostoru o 90° vůči hlavnímu přes C

- díky C je sfozbočné

- po rozběhu se odpojí



Skalární řízení

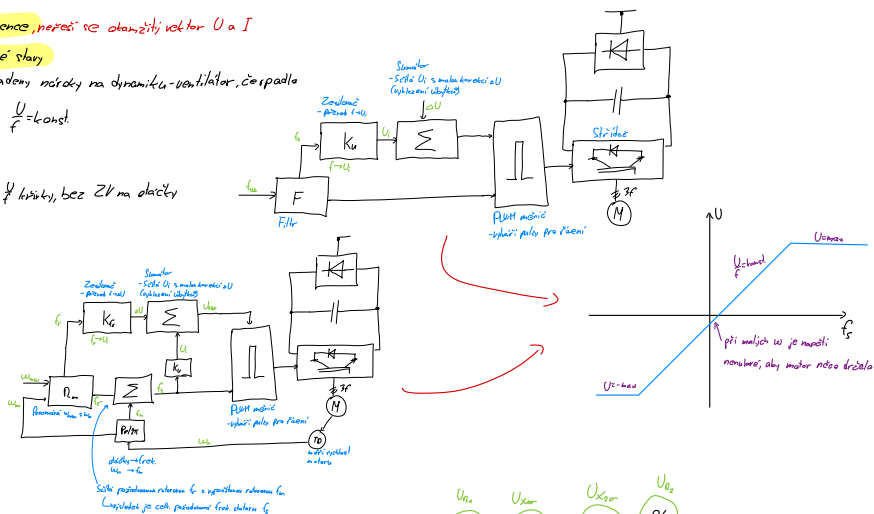
- Jednoduchý způsob řízení
- řídí se vol. napětím a frekvencí, **neresí se okamžitý vektor U a I**
 - nezapomínají na otáčky statoru
 - vhodné tam, kde nejsou kladeny nároky na dynamiku - ventilátor, čerpadlo
- pro zachování konst. Φ je nutno $\frac{U}{f} = \text{konst.}$

Řízení bez čidla otáček

- Motor se řídí dle předem nastavené f křivky, bez ZV na obalčty
- nerozlišuje na změny zatížení
- leme, jednoduché
- špatné dynamické vlastnosti

Řízení s čidlem otáček

- používá čidlo otáček
- Parametrizaci skutečnosti a požadavku
- Přesné, dynamické



Vektorové řízení

- Proud se zde dělí na dvě složky - Tokoturné složka - $I_{\alpha\beta}$ - vytváří Φ
- Momentová složka - $I_{\alpha\beta}$ - vytváří M

- chceme řídit káždou zvlášť - přesnější, rychlejší

Princip - zavedeme souřadnice $d, q \rightarrow f_s$ se otáčí s magn. polem rotoru

→ díky dělení se pomocí nerotujícího diagramu a jde potně bodit

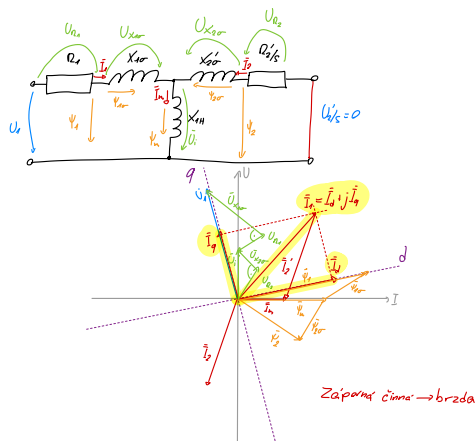
- d je směřem na ψ a q je na něj kolmá

- můžeme změnit název na d osa a q osa to nepoznáme

$\vec{I}_d \sim \vec{\psi}_d \dots \vec{I}_q$ je úhlový tok v rotoru

$\vec{I}_d \sim M \dots \vec{I}_q$ je úhlový momentu

$M \sim \vec{\psi}_d \cdot \vec{I}_q \dots$ je úhlový momentu, ale my chceme držet $\vec{\psi}_d$ konst.
ať je motor stabilní



17.	Technologie elektroizolačních systémů velkých elektrických strojů, parametry, ztráty	Technologie vinutí transformátorů, systém olej – papír, materiály, parametry. Technologie vinutí točivých strojů, systém VPI, Resin-Rich, materiály, parametry. Způsoby chlazení transformátorů, zalévání vs olej-papír, ztráty. Způsoby chlazení točivých strojů, přímé, nepřímé, ztráty, technologie chladicích kanálů.
-----	--	---

Technologie vinutí TR

- dle frekvence - nf - za studena valcované plechy
amorfni, feromagnetika (kovová skla)
- rf - ferity, feritové prášky
nanoplechy

- Elektrotechnická (Si) ocel - přidávek Si - zvýší el. odpor
- sníží vířivé proudy
- zlepši magnet. vlastnosti

- typicky 0,5-7% Si

→ jsou ale křehčí

- Nearorientované plechy - dělají se valcovaním za studena
- Vlastnosti stejné ve všech směrech = izotropní
- Obsah Si max 2%
- Použití: Motory, generátory (mění se tan směr Φ)
- Orientované plechy - usměrňují krystalickou strukturu
- Vlastnosti lepší ve směru valcování = anizotropie
- Použití: Trafo

- Amorfni feromagnetika - nemá pravidelnou krystalickou strukturu
- nízké ztráty

- Ferity - keramické feromagnetika
- pro rf

Technologie vinutí točivých strojů

- Stator - tyče v drážkách (měď)
- izolace ze slidy/skleové pásy

- Resin-rich - izolační systém s vysokým obsahem pryskyřice

- Princip - Slidová páska je už z výroby napuštěna pryskyřicí (30-40% obsah)
- vinutí se obalí páskou
- následně se lisuje a vytvrzuje

- horší odvod tepla, dražší

- vysoké perme, odolnost proti PD

- **VPI** = Vakuové tlakové impregnace

- **Princip** - Vinutí se navzájem posouvá podél sebou

- Celý stator se vloží do vakuové nádoby
- Odsaje se vzduch a vlhkost
- Tlakem se naplní pryskyřice

- homogenní, jemnější

- méně peme

- **Technologie vinutí** - **Round wire** - malé stroje

- **Hair pin** - ploché vodiče ohnuté do "U"
 - větší cítil zplněné drážky, menší odpor
 - Použití - elektromobily, trakční motory
- **Wave winding** - modifikace hair pinu
- **3D tisk**

Způsoby chlazení TR

- **Suchý TR** - izolace - vzduch, epoxidová pryskyřice

- chlazení - proudění vzduchu

- horké chlazení

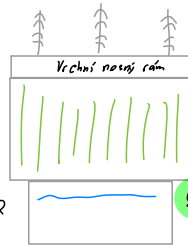
- nebezpečí úniku oleje

- **Olejní TR** - izolace - olej + papír

- lepší chlazení, el. pevnost

→ větší výkon

- **Konzervata** - nadržet nádobu na TR



Vlnové (radiální) - zesílené chladicí plochy

- olej se se vinutí zahřeje → jde nahoru → do radiátoru
→ ochladí se → jde zas dolů

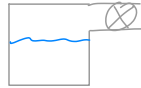
Olejová vana

- kompenzuje změny objemu oleje (při zahřívání se roztahuje)

- odděluje hlavní nádobu od okolního vzduchu

- **Přetlakový ventil** - v případě poruchy se otevře

- **Vzduchový filtr** - vzduch jde dříve do TR bez vlhkosti



Způsoby chlazení točivých strojů

- **Přirozené** - konvekce, sálání

- **Vlastní** - ventilátor na rotoru

- bezúševí

- **Cizí** - menší ventilátor

- **Poruchové** - teplo se odvádí přes přehřáté stroje

- zčernování

- **Obehové** - uzavřený okruh s chladivem

- v rotoru se chladí i drážkami

- **Roebelova tyč** - mnoho tenkých transponovaných vodičů

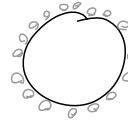
→ narůstající vlivové proudy



18.	Technologie výroby kabelů, materiály, parametry, ztráty	Lanování, extruze, odvíjení, navíjení. Materiály vodičů, pláště, izolace, pancíře, výrobní technologie. Typy kabelů, silové, sdělovací a další, rozdíly v technologii výroby. Ztráty ve vodičích ztráty v pancíři, ztráty dielektrické, konstrukce kabelu pro vysoké napětí, velké proudy.
-----	---	--

Výroba kabelů

- 1) **Lanování** - výroba tenkých Cu / Al drátů
- 2) **Lanování** - jednotlivé drátky se slučují do lana
 - Ohebnější, snazší manipulace
 - Použití: silové kabely
- 3) **Extruze** - nanesení izolace, polovodičků a pláště na vodič (PVC, PE, XLPE, ...)
 - Materiál se nataví a protlačí tryskou kolem vodiče
- 4) **Odvíjení** - Materiál se odvíjí z bubnu do výrobní linky
- 5) **Navíjení** - nakonec se materiál navine na buben



Materiály

- **Vodiče** - Med - vysoká vodivost a el. pevnost
 - Alumin - lehčí, křehčí
 - Ocel - nosný prvek (AlFe), nízké proudy
- **Izolace** - Papírová izolace - napuštěná olejem
 - PVC - lehký, snadný
 - dielektrické ztráty
 - PE - menší dielektrické ztráty
 - PET - pomocná izolace
 - XLPE (Silovaný polyetylen) - Vyšší tepelná odolnost
 - Vyšší mechanická pevnost
 - přes standard pro VN
 - Silikony - pružné (speciální použití)
- **Plášť** - ochrana proti vnějším vlivům
 - PVC, PE

Typy kabelů

- 1) **Silové** - přenos energie
- 2) **Sdělovací** - přenos informací
 - mnoho tenkých žil
 - důraz na stínění
- 3) **Optické**

Ztráty ve vodičích - $P = RI^2$

- omezení - větší průřez
- Cu místo Al
- Skin efekt - $\left| \frac{f_{max}}{f} \right| \propto \sqrt{f}$

- Ztráty v pancíři - Al/Fe lana $\rightarrow$ vířivé proudy

- Dielektrické ztráty

Konstrukce kabelů pro $\overline{U}/\overline{I}$

- Polovodičové vrstvy pro bránění el. pole

- velký průřez / segmentovaný kabel na více meších

19.	Technologie výroby desek plošných spojů	Technologický postup výroby DPS (obecná výrobní sekvence: realizace vodivých motivů, laminace, vrtání, pokovování, nepájivá maska, popisky, povrchové úpravy). Realizace vodivých motivů (subtraktivní vs. aditivní koncepce, fotolitografie, pokovování). Aplikační technologie (střítky, šablonový tisk, dispensing). Materiály pro DPS (substráty, vodivé materiály, nepájivé masky, povrchové úpravy).
-----	---	--

Technologický postup výroby DPS

- 1) Přenos motivu mřížkových vrstev - na laminát se přenesou fotolitografií obrazy spojů
- 2) Leptání - odstranění přebytečné medě → vznik spojů mřížkových vrstev
- 3) Inspekce
- 4) Laminace - spojení vrstev

- Prepreg = sklená tkanina napuštěná epoxidovou pryskyřicí
- 5) Vrtní - protokory
 - montážní otvory
 - THT otvory
- 6) Pokovení otvorů - aby nešly vodou skrz vrstvy
- 7) Přenos motivu meziploškových vrstev
- 8) Leptání
- 9) Inspekce
- 10) Nepájivá vrstva (to zelená) - chrání medě
 - brání zkratům při pájení
- 11) Popisky (R_2 , G_3)
- 12) Povrchová úprava - HASL, ENIG (pro BGA)
- 13) Testování
- 14) Balení

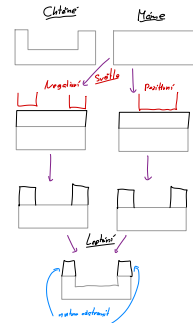
Realizace vodivých motivů

- Fotolitografie - Metoda přenosu obrazu spojů na DPS světlem

- Principi:
- 1) Nanesení se fotorezist
 - 2) Přiložení se masky
 - 3) Osvětlení UV
 - 4) Vyvolání
 - 5) Leptání / pokovování

- Fotorezist - světločivná vrstva, která chrání medě během dalších operací

- Mokvý - nástráčen (tenší)
- Suchý - laminace na desku (přesný)



- Negativní - osvitlen se vytváří
- při vytváření se odstraní neosvitlené části

- Pozitivní - opak

- Po vytváření se odstraní z bytkey → stripping

- Filmová matrice - 1) vytiskne se film

2) přiloží se na DPS

3) cele se to osvití UV

→ leme

LDI - obrazec kreslen laserem místo filmu
→ přesně

- Pokrokování - Chemické (bez proudů, v lázni)

- Galvanické (elektrolyt)

- Substraktivní technologie - Mezi všude, co se odstraní a tím vznikají spoje ... běžné

- Aditivní technologie - Mezi nikde a nanáší se jen na cesty

Aplikační technologie

- Síťotisk - přes síť s motivem se protlačuje stěrka papíra

- Šablonový tisk - místo síť je pema kovová šablona

- běžné

- Dispensing - dookování pasty tryskou

- prototypy, opravy

Materialy pro DPS

- Substráty (základ DPS)

- mechanický nosič, el. izolant

- nesourodí spoje

- Organické : 1) FR-4 = sklená tkanina + epoxidová pryskyřice

- běžný

2) FR-2 - horší než FR-4

3) Polyimid - ohobné DPS

4) PTFE - pro vf

- Anorganické substráty 1) Keramika - dobrá pro VN

- Prepreg - sklená tkanina napuštěná vyztuženou epoxidovou pryskyřicí

- spojuje vrstvy DPS

- Vodivé materiály = Hóděné fólie

1) ED Cu = elektrolyticky nanášená měď

- jedna strana hrubší
- lepší přilnavost k laminátu
- běžnější

2) NA Cu = válcovaná a ztuhlá měď

- ohebná, hladší

- Nepájivá maska
(to zelené) - chrání měď (zkratky při pájení)

20.	Technologie pouzření a montáže elektronických součástek	Konstrukce pouzder součástek (funkce pouzdra, SMT vs THT, konstrukční uspořádání pouzder a typy vývodů). Technologie kontaktování v pouzdrech součástek (microwire bonding vs flip-chip, bondování na kuličku a na hranu, chip-on-board). Osazování součástek (základní koncepce osazovacích automatů, balení součástek pro strojní osazování, uspořádání a funkce osazovacích hlav). Technologie pájení a lepení součástek (podstata pájení, pájecí slitiny, ruční vs strojní pájení, vlna vs reflow, intermetalické sloučeniny).
-----	---	--

Konstrukce pouzder součástek

- fce pouzdra - mechanická ochrana, el. propojení čipu a DPS, odvod tepla

- Materialy - Plast - leme

- Keramika - dobrá tepelná vodivost, spolehlivě
- vaječní / vesmír

- kovy - výkonovka, vf

- Montáž - THT (vývody skrz DPS) - DIP

/ PGA



- SMT (pájení na povrch DPS) - J-lead - vývod zahnutý pod povrch pouzdra

- Gull-Wing - vývod takto

- SOIC, QFP pouzdra

- No-lead - bez vývodů, pouze kontakty zespodu

- QFN, BGA (kuličky zespodu)



Technologie kontaktování v pouzdrech součástek

- Wire bonding - mikrodraťkami se spojí čip s vývody

- Au, Al, Cu

- Způsoby bondování - Bondování na kuličku - na konce drátka kulička

- přitlačí se na čip → spoj

- Bondování na hranu - klínovým nástrojem

- přesně, pro VU a vf

- Technologie bondování - Termokompresní (tlak + teplota)

- Ultrazvukové (bez vysoké teploty, tlak + ultra zvuk)

- Termosonické - kombinace

- nejlepší

- TAB - vodiče jsou vytvářeny na pružné folii

- automatizace, vysoká hustota



- Flip-chip - na kontaktech čipu se udelejí kuličky

- čip se otáčí vzhůru nohama (kontakty dolů) a spojí se to



- Chip on board - montáž čipu přímo na DPS

Osazovací součástek

- 1) THT - zasunú do DPS
- 2) SMT - Princip:
 - 1) Stroj nasaje součástku podtlakem
 - 2) Zkontroluje polohu kamery
 - 3) Otočí ji správně
 - 4) Položí na DPS

- koncepte osazovacích automatů

Pick and place (více hlav paralelně)

Revolverový systém (zařobník)

Collect and place - nejčastěji více posuvů, pak osadí

Balení součástek

Tape & Reel - v círci na počítač

Tube - v plastové trubici

Tray - páska

Technologie pájení a lepení

- Pájení - metalurgické spojování kovů pájkou

- taví se jen pájka

- Methe ($< 450^\circ\text{C}$)

- Pájecí slitiny - Eutektické slitiny (směs kovů, co taje při jedné teplotě)

- Bicolornate pájky ($\text{Sn } 95\%, \text{Ag}, \text{Cu}$)

- Tavidlo (flux) - odstranění oxidů, ochrana povrchů

- bez něj pájka špatně teče

- druhy:

- kelafina - přírodní pryskyřice
- organické kyseliny

- Pájecí pasta - prášek pájky

Intermetalické sloučeniny

- Při pájení reaguje - Cu z DPS
- Sn z pájky

→ vznik sloučenin na rozhraní

- Pájení vlnou - Postup:

1) nanášení tavidla

2) předehřív

3) průchod vlnou pájky

4) chlazení

Lepení - hliněné dráty

- před vlnovým pájením SMT, dnes Reflow

- Reflow - používá pastu

(pro SMT) - Pasta → součástky → pec

