

OBSAH

DÍL PRVNÍ

Všeobecné údaje a podklady pro konstrukci elektrických strojů točivých

| | |
|---|-----|
| I. Vlivy působící na konstrukční řešení | 19 |
| A. Způsob práce | 19 |
| B. Druh proudu | 20 |
| C. Otáčivá rychlost | 21 |
| D. Způsoby buzení | 21 |
| E. Druhy chlazení | 22 |
| F. Druhy zatížení | 23 |
| G. Druhy krytí | 24 |
| H. Tvary strojů | 35 |
| I. Druhy pohonů | 49 |
| J. Druhy izolace | 50 |
| K. Oteplení | 58 |
| L. Mechanická a elektrická zatížitelnost | 59 |
| M. Napětí a zkušební napětí | 63 |
| N. Setrvačný moment | 65 |
| O. Doprava | 69 |
| P. Normy pro stavbu elektrických strojů | 71 |
| Q. Chlazení a ztráty | 71 |
| a) Mnohofázové synchronní stroje | 74 |
| b) Stejnoseměrné motory a generátory | 87 |
| c) Mnohofázové asynchronní motory a asynchronní alternátory | 87 |
| R. Odvod ztrátového tepla | 88 |
| a) Vedení tepla | 88 |
| b) Sálání tepla | 96 |
| c) Konvekce | 97 |
| 1. Přirozené proudění | 97 |
| 2. Nucené proudění | 98 |
| d) Kombinované sdílení tepla | 109 |
| e) Provoz s nestacionárním zatížením | 115 |
| S. Klidný mechanický chod a vyvažování | 118 |
| a) Mechanická nevyváženost | 118 |
| 1. Statické vyvažování | 118 |
| 2. Dynamické vyvažování | 120 |
| b) Tepelná nevyváženost | 124 |
| T. Hluk a zvuk šířící se pevnými tělesy | 125 |
| a) Kmitání a zvuk | 125 |
| b) Tóny, hluky, zvuky | 125 |
| c) Akustický tlak a intenzita zvuku | 126 |
| d) Práh slyšení a práh bolesti | 126 |
| e) Hladina hlasitosti | 127 |
| f) Výsledná hladina hlasitosti několika zdrojů zvuku v decibelech | 129 |
| g) Srovnání intenzit zvuku a akustických tlaků v decibelech | 131 |
| h) Šíření zvuku | 131 |

| | |
|--|------------|
| i) Směrnice pro měření hladin hluku elektrických strojů | 132 |
| j) Zdroje hluku v elektrických strojích | 132 |
| k) Snižování úrovně hluku uvnitř stroje pomocí neprůzvučných krytů | 134 |
| II. Konstruktivní materiály | 138 |
| A. Ocel a železo | 138 |
| a) Litina | 139 |
| b) Ocelolitina | 139 |
| c) Válcovaná, kovaná a tažená ocel | 139 |
| d) Ocelové plechy | 145 |
| e) Dynamové plechy | 145 |
| B. Neželezné kovy | 147 |
| a) Permanentní magnetické materiály | 147 |
| b) Měď | 147 |
| c) Litá, tažená a válcovaná mosaz | 152 |
| d) Litý, žíhaný, tažený a válcovaný bronz | 152 |
| e) Lehké kovy | 153 |
| f) Pájký a kovové povlaky | 153 |
| g) Ložiskové kovy | 157 |
| C. Materiál na bandáže | 157 |
| D. Izolanty | 157 |
| E. Chladivo | 161 |
| a) Plynná chladiva | 161 |
| b) Kapalná chladiva | 161 |
| F. Kartáče | 161 |
| G. Mazací tuky pro valivá ložiska a ložiskové oleje | 164 |
| a) Mazací tuky pro valivá ložiska | 164 |
| b) Ložiskový olej | 164 |
| c) Jiné mazací prostředky | 165 |
| H. Těsnicí materiály | 165 |

DÍL DRUHÝ

Celková konstrukční koncepce elektrických strojů

| | |
|---|------------|
| I. Synchronní stroje | 167 |
| A. Synchronní alternátory a motory spojené s pístovými stroji | 169 |
| B. Synchronní alternátory a motory spojené s vodními turbínami a čerpadly | 174 |
| a) Pohon turbínami | 177 |
| 1. Pohon horizontálními Peltonovými turbínami | 177 |
| 2. Pohon horizontálně a vertikálně uloženými Francisovými nebo vrtulovými turbínami | 180 |
| 3. Pohon vertikálními Kaplanovými turbínami | 182 |
| 4. Pohon přímoproudými turbínami s osou otáčení horizontální nebo šikmou | 187 |
| b) Vliv stavební dispozice elektrárny na konstrukci alternátoru | 190 |
| 1. Stavby s umístěním alternátorů horizontálních i vertikálních uvnitř budovy | 190 |
| 2. Stavby se značným omezením velikosti prostoru elektrárny | 191 |
| 3. Podzemní elektrárny pro horizontální a vertikální alternátory | 192 |
| 4. Venkovní elektrárny | 192 |
| c) Uspořádání a konstrukční koncepce alternátorů | 192 |
| d) Jednofázové hydroalternátory | 196 |
| e) Uspořádání budičů a pomocných strojů | 197 |
| C. Alternátory s vyniklými póly a synchronní motory pro spojení s parními nebo plynovými turbínami a s turbokompresory | 198 |
| D. Synchronní stroje pro měniče kmitočtu a zkratové alternátory | 199 |
| E. Synchronní kompenzátory | 201 |
| F. Středněfrekvenční alternátory | 202 |
| G. Alternátory s permanentními magnety | 205 |
| H. Turboalternátory a synchronní turbomotory | 208 |
| a) Turboalternátory se vzduchovým chlazením | 214 |

| | |
|--|-----|
| b) Alternátory s vodíkovým chlazením | 217 |
| c) Kombinované systémy chlazení plynem a kapalinou | 219 |
| I. Střídavé budíče s otáčejícím se polovodičovým usměrňovačem („nesené ventily“) | 223 |
| II. Stejnoseměrné stroje | |
| A. Dynama | 227 |
| a) Leonardovo dynamo | 227 |
| b) Dynama na velké proudy | 229 |
| c) Dynama poháněná diesellovými motory | 229 |
| d) Dynama poháněná turbínami | 232 |
| e) Unipolární stroje | 232 |
| f) Dynamometry | 234 |
| g) Dynama pro vozidla | 236 |
| h) Zdroje svařovacího proudu | 236 |
| B. Stejnoseměrné motory | 236 |
| a) Normální motory v provedení otevřeném a zavřeném | 236 |
| b) Turbomotory | 239 |
| c) Motory pro válcovny | 239 |
| d) Těžní motory | 244 |
| III. Asynchronní motory | |
| A. Normální motory | 247 |
| B. Střední a velké motory nakrátko | 248 |
| C. Kroužkové motory | 250 |
| D. Zvláštní motory | 251 |
| a) Motory s klidným mechanickým chodem (motory pracující bez chvění) | 251 |
| b) Nehlučné motory | 252 |
| c) Motory s přepínáním pólů pro 2 nebo 3 různě velké otáčivé rychlosti | 252 |
| d) Motory pro přerušovaný provoz, zvláště motory pro pohon zdvihadel | 252 |
| e) Stop-motory | 254 |
| f) Motory pro pohon tkaleovských stavů | 256 |
| g) Převodové motory | 257 |
| h) Motory pro pohon ventilátorů | 257 |
| i) Elektrohydraulické pístové ovládače | 257 |
| k) Motory pro pohon ponorných čerpadel | 257 |
| l) Motory pro pohon válečkových dopravníků | 257 |
| m) Nevýbušné motory do prostředí s nejrůznějším složením zápalné směsi | 257 |
| n) Velké motory s kotvou nakrátko pro těžké rozběhy, s přímým vodním chlazením | 257 |
| IV. Komutátorové stroje | |
| A. Motorčky | 258 |
| B. Sériové komutátorové motory | 258 |
| C. Trojfázové komutátorové stroje | 258 |
| a) Trojfázové komutátorové derivační motory | 258 |
| b) Trojfázové komutátorové stroje na nižší kmitočty | 260 |
| V. Trakční motory | |
| A. Stejnoseměrné trakční motory | 261 |
| B. Motory na zvlněný proud | 265 |
| C. Motory na střídavý proud | 266 |
| D. Hnačí ústrojí | 268 |
| DÍL TŘETÍ | |
| Konstrukční prvky elektrických strojů | |
| I. Svazek plechů aktivního železa | |
| A. Všeobecné údaje | 279 |
| B. Statorové plechy střídavých strojů | 284 |
| C. Rotorové plechy střídavých a stejnosměrných strojů | 291 |

| | |
|---|-----|
| D. Plechy pólů a pólových nástaveb | 295 |
| a) Hlavní a pomocné póly stejnosměrných strojů | 295 |
| b) Póly a pólové nástaveby synchronních strojů | 297 |
| II. Vinutí a izolace vinutí | |
| A. Povšechné údaje | 301 |
| B. Statorové vinutí střídavých strojů | 303 |
| a) Vinutí vsypávaná, prošívaná a zasouvaná (pájená) vložená do polozařvených drážek | 304 |
| b) Vinutí vkládaná do otevřených drážek | 311 |
| C. Rotorová vinutí | 319 |
| a) Asynchronní rotory nakrátko | 319 |
| 1. Oteplení při rozběhu | 319 |
| 2. Doba rozběhu | 322 |
| 3. Tvary drážek a tyčí rotorů nakrátko | 323 |
| b) Asynchronní kroužkové rotory | 325 |
| c) Stroje stejnosměrné a komutátorové | 329 |
| 1. Všeobecné vlastnosti | 329 |
| 2. Technologie vinutí | 333 |
| 3. Izolování stejnosměrných vinutí | 341 |
| D. Vinutí pólů a tlumicí vinutí synchronních strojů | 345 |
| a) Stroje s vyniklými póly | 345 |
| b) Turboalternátory | 349 |
| E. Vinutí hlavních a pomocných pólů a kompenzační vinutí stejnosměrných strojů | 351 |
| III. Konstrukce otáčejících se částí | |
| A. Kostra statoru | 356 |
| a) Střídavé stroje | 356 |
| b) Stejnosměrné stroje | 363 |
| c) Výpočet | 366 |
| 1. Přibližné vzorce | 366 |
| 2. Přesnější výpočet | 367 |
| B. Hlavní a pomocné póly stejnosměrných strojů | 373 |
| a) Hlavní póly | 373 |
| b) Pomocné póly | 375 |
| C. Ložiskové štíty, nosné hvězdice, kryty | 376 |
| D. Kartáče, kartáčové držáky, sběrací ústrojí | 381 |
| a) Kartáče | 381 |
| b) Kartáčový držák | 382 |
| c) Sběrací ústrojí | 386 |
| E. Svorky | 389 |
| IV. Konstrukce otáčejících se částí | |
| A. Hřidel | 392 |
| B. Rotory synchronních strojů s vyniklými póly | 393 |
| a) Póly a jejich připevnění | 393 |
| b) Těleso rotoru | 396 |
| C. Plně válcové rotory turboalternátorů | 399 |
| D. Rotory asynchronních strojů a strojů s komutátorem | 401 |
| E. Výpočet bandáží | 404 |
| a) Bandáže z ocelového drátu | 404 |
| 1. Povšechné údaje | 404 |
| 2. Bandáže navinuté v jedné poloze | 407 |
| 3. Bandáže uspořádané v několika polohách | 409 |
| 4. Příklad | 411 |
| b) Bandáže ze skelných vláken s impregnací ze syntetické pryskyřice | 414 |
| F. Sběrací kroužky | 417 |
| a) Sběrací kroužky asynchronních strojů | 417 |
| b) Sběrací kroužky synchronních strojů | 420 |
| G. Komutátor | 421 |
| a) Údaje o konstrukci | 421 |

| | |
|---|-----|
| 1. Komutátory lisované | 423 |
| 2. Klenbový komutátor | 423 |
| 3. Konstrukce komutátoru s lamelami dosedajícími současně na dvou plochách; klenbový tlak není definován | 423 |
| 4. Zděřový komutátor (turbokomutátor) | 424 |
| b) Výpočet klenbového komutátoru | 426 |
| 1. Výpočet sil — diagram přesahů | 427 |
| 2. Výpočet deformací a namáhání | 437 |
| c) Rybinový komutátor bez vyjádřeného klenbového tlaku | 440 |
| 1. Konstrukce s lamelami, dosedajícími na váleovou plochu pouzdra | 440 |
| 2. Konstrukce s klinovým upnutím v rybinách | 440 |
| d) Zděřový komutátor (turbokomutátor) | 441 |
| V. Pevnostní výpočet otáčejících se částí | |
| A. Povšechné údaje o mechanickém namáhání a o bezpečnosti | 442 |
| a) Stavby napjatosti | 442 |
| b) Srovnávací napětí | 444 |
| 1. Trojrozměrná napjatost (prostorová napjatost) | 444 |
| 2. Dvojrzměrná napjatost (rovinná napjatost) | 445 |
| 3. Bezpečnost | 446 |
| 4. Mez únavy, mez časované únavy a mez pevnosti při tečení | 447 |
| 5. Vrubový účinek, tvarový činitel a vrubový činitel | 450 |
| B. Výpočet rotoru synchronního stroje s vyniklými póly | 453 |
| a) Póly a jejich vinutí | 455 |
| b) Připevnění pólů | 455 |
| 1. Připevnění šrouby | 456 |
| 2. Rybiny a klíny | 456 |
| 3. Hřebenové připevnění | 468 |
| C. Kola a magnetové věnce | 469 |
| a) Kola s rameny | 471 |
| 1. Označení | 473 |
| 2. Namáhání při ustáleném chodu (při konstantní úhlové rychlosti) | 478 |
| 3. Namáhání při přechodných stavech (při zkratu) | 478 |
| b) Disková kola | 480 |
| 1. Označení | 480 |
| 2. Mezikruhový kotouč nebo prstenec stálé tloušťky rovnoměrně zatížený na svém okraji | 481 |
| 3. Diskové kolo, sestavené z dílčích kotoučů stálé tloušťky s rovnoměrným zatížením na obvodu | 483 |
| 4. Mezikruhový kotouč nebo prstenec stálé tloušťky, zatížený na obvodu ne- rovnoměrně | 487 |
| c) Výpočet věnce rotoru skládaného z plechových segmentů (tzv. řetězová kon- strukce) | 489 |
| 1. Označení | 489 |
| 2. Synchronní stroje | 490 |
| 3. Asynchronní a stejnosměrné stroje | 498 |
| D. Turborotor | 499 |
| a) Zuby rotoru a drážkové klíny | 499 |
| b) Těleso rotoru | 502 |
| c) Pevnostní výpočet obručí rotoru | 505 |
| 1. Povšechné údaje a označení | 505 |
| 2. Namáhání prstence obruče v klidu | 508 |
| 3. Vliv oteplení při rotoru v klidu | 512 |
| 4. Namáhání prstence obruče rotoru v chodu | 514 |
| 5. Vliv oteplení při chodu | 516 |
| 6. Namáhání závěrného kruhu | 519 |
| 7. Namáhání válece rotoru způsobené obručí | 520 |
| 8. Přídavná namáhání obruče, způsobená zatížením, jehož rozložení není sou- měrné | 520 |
| E. Hřídel v ustáleném chodu | 522 |
| a) Výpočet namáhání hřídelů | 522 |

| | | |
|----|---|-----|
| b) | Konce hřídelů — klíny | 526 |
| c) | Ohybové momenty příčné zatížených hřídelů | 528 |
| d) | Přetvoření hřídele — průhybové čáry | 533 |
| e) | Montáž soustavy hřídelů | 539 |
| F. | Hřídel při přechodných stavech | 541 |
| a) | Všeobecné úvahy o přechodných stavech hřídelů a zvláště o jejich kmitání | 541 |
| b) | Torzní kmitání | 543 |
| 1. | Příklad analytického řešení torzního kmitání hřídele | 543 |
| 2. | Holzerova metoda výpočtu vlastní úhlové frekvence při torzním kmitání a větším počtu otáčejících se hmot | 546 |
| 3. | Namáhání hřídele při zkratu | 551 |
| c) | Ohybové kmitání | 558 |
| 1. | Úvod | 558 |
| 2. | Kritická úhlová rychlost a vlastní úhlová frekvence nehmotného hřídele, uloženého oběma konci volně na tuhých podporách, s jednou hmotou uprostřed mezi ložisky | 559 |
| 3. | Vlastní úhlová frekvence hřídele konstantního průřezu, uloženého na dvou podporách | 560 |
| 4. | Vlastní úhlová frekvence hřídele proměnlivého průřezu, uloženého na dvou podporách. Energetická metoda výpočtu kritické otáčivé rychlosti Kullova—Rayleighova | 564 |
| 5. | Vlastní úhlová frekvence hřídele konstantního průřezu staticky neurčitého | 567 |
| 6. | Kritická otáčivá rychlost staticky neurčitých hřídelů proměnlivého průřezu | 567 |
| 7. | Vliv magnetického tahu na ohybové kmitání (kritickou otáčivou rychlost) a na mechanický chod elektrického stroje | 572 |
| 8. | Různé vedlejší vlivy a poruchy | 574 |
| d) | Měřítka pro posouzení mechanického chodu rotoru | 580 |
| G. | <i>Výpočet bandáží a komutátorů viz str. 404, popř. str. 426</i> | |

VI. Ventilátory

| | | |
|----|--|-----|
| A. | Systémy, množství chladicího vzduchu, potřebný tlak | 585 |
| B. | Teoretické základy | 586 |
| a) | Příkon ventilátoru | 586 |
| b) | Tlak vyvinutý ventilátorem | 587 |
| c) | Rychlostní trojúhelníky | 588 |
| d) | Charakteristiky a bezrozměrná charakteristická čísla | 588 |
| e) | Návrh ventilátoru | 589 |
| 1. | Radiální ventilátory | 580 |
| 2. | Axiální ventilátory | 591 |

VII. Uložení točivých částí elektrických strojů

| | | |
|----|---|-----|
| A. | Všeobecné vlastnosti | 596 |
| a) | Souvislost mezi způsobem přenosu točivého momentu a zatížením ložisek | 596 |
| b) | Požadavky na uložení točivých částí elektrických strojů | 597 |
| c) | Podklady pro výpočet a dimenzování ložisek | 599 |
| B. | Valivá ložiska | 599 |
| a) | Způsob uložení | 599 |
| b) | Mazání a utěsnění valivých ložisek | 602 |
| c) | Životnost a oblasti použití valivých ložisek | 604 |
| C. | Kluzná ložiska | 604 |
| a) | Kluzná ložiska vodorovných hřídelů | 604 |
| b) | Kluzná ložiska svislých hřídelů | 607 |
| D. | Ložiskové proudy | 612 |

VIII. Pružné uložení elektrických strojů na základ

| | | |
|----|--|-----|
| a) | Obecný rozbor | 614 |
| b) | Ustálený chod strojů s pulsujícím momentem (Jednofázové stroje) | 616 |
| c) | Přechodné stavy (jednofázový zkrat při rozpojených zbývajících fázích) | 619 |
| d) | Příklady | 622 |
| e) | Nežádoucí stupně volnosti | 624 |
| f) | Způsoby odpružení | 625 |

IX. Dodatek I až VII

| | |
|--|-----|
| <i>Dodatek — část I.: Výpočet prstence</i> | 628 |
| a) Tenký prstenec | 628 |
| 1. Rovnoměrné zatížení na obvodu prstence | 628 |
| 2. Zatížení osamělými silami | 629 |
| b) Kotouč stálé tloušťky | 629 |
| <i>Dodatek — část II.: Výpočet poddajné a tuhé příruby — klopení mezikruhového prstence vnějším klopným momentem</i> | 630 |
| a) Poddajná příruba (prsteneč) | 630 |
| b) Tuhá příruba | 631 |
| <i>Dodatek — část III.: Namáhání a přetvoření kola s rameny</i> | 632 |
| <i>Dodatek — část IV.: Namáhání kola s rameny vnějším točivým momentem</i> | 633 |
| <i>Dodatek — část V.: Příčinkový činitel ohybové tuhé, rotačně souměrně zatížené válcové skořepiny</i> | 634 |
| <i>Dodatek — část VI.: Radiální roztažení na vnějším konci volně kroužícího pružného ramene</i> | 637 |
| <i>Dodatek — část VII.: Vztahy mezi veličinami, které popisují časový průběh harmonického kmitání</i> | 639 |
| Seznam literatury | 640 |
| Rejstřík | 642 |
| Seznam tabulek | 650 |