VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2016 Lukáš Kovačík



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY A ELEKTRONIKY
DEPARTMENT OF POWER ELECTRICAL AND ELECTRONIC ENGINEERING

NABÍJECÍ SYSTÉM V AUTOMOBILU
AUTOMOBILE CHARGING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Lukáš Kovačík**
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.**
SUPERVISOR

BRNO 2016

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika

Student: Lukáš Kovačík ***ID:*** 164749
Ročník: 3 ***Akademický rok:*** 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Nabíjecí systém v automobilu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Prostudujte nabíjecí systém v automobilu - jeho hlavní části se zaměřením na alternátory.
2. Navrhněte možnosti inovací v dané oblasti
3. Ověřte výpočtem, nebo měřením na demonstračních vzorcích.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] PETROV, G. N. Elektrické stroje 2: Asynchronní stroje - synchronní stroje. 1. vyd. Praha: Academia Praha, 1982. ISBN 509-21-857.
[2] CIGÁNEK, Ladislav. Stavba elektrických strojů. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1958. ISBN 36 174-57.
[3] T. Denton, Automobile Electrical and Electronics Systems" Butterworth-Heinemann, Oxford 2001, ISBN 0-340-73195-8
[4] Yeadon H., Handbook of Small Electric Motors,.Mc Graw Hill Book Company, 2001, ISBN 0-07-072332-X

Termín zadání: 21. 9. 2015 ***Termín odevzdání:*** 31. 5. 2016

Vedoucí práce: prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc.
Konzultanti bakalářské práce:

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií Ústav elektroenergetiky 1

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Práce se zabývá rozborem nabíjecího systému v automobilu. Jsou zde popsány hlavní prvky této obvodové soustavy, se zaměřením na automobilové alternátory. Byla objasněna funkce jednotlivých částí alternátoru a porovnání dnes nejvíce využívaných druhů automobilových alternátorů. Velká část práce je věnována rozboru a inovaci v oblasti ztrát, které určují účinnost stroje. Závěrem byl proveden analytický výpočet zadaného třífázového alternátoru.

Abstract

This Bachelor thesis analyzes recharging systems in automobile. It explains main components of electric circuit used in automobile alternators, functions of each part of the alternator, comparison of the most common types of alternators. Main focus is to analyze and inovate the area of power losses, which determines the efficiency of each type. Final part of this thesis describes the analytical calculation of a three-phase generator.

Klíčová slova

Nabíjecí systém; akumulátor; automobilový alternátor; drápkový alternátor; elektromagnetické indukce; inovace; ztráty; analytický výpočet

Keywords

Charging system; battery; automobile alternator; claw alternator; electromagnetic induction; innovation; losses; analytical calculation

Bibliografická citace

KOVAČÍK, L. *Nabíjecí systém v automobilu.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 51 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Nabíjecí systém v automobilu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne …… Podpis autora ……..

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Vítězslav Hájek, CSc..za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne …… Podpis autora ……

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ **9**

SEZNAM TABULEK **10**

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK **11**

ÚVOD **15**

1 NABÍJECÍ SYSTÉM V AUTOMOBILU **16**

1.1 AKUMULÁTOR **17**

1.1.1 OLOVĚNÝ AKUMULÁTOR 18
1.1.2 AKUMULÁTORY S VÁZANÝM ELEKTROLYTEM-AGM 18
1.1.3 GELOVÝ AKUMULÁTOR 19

2 ALTERNÁTOR **20**

2.1 HLAVNÍ ČÁSTÍ ALTERNÁTORU **20**

2.1.1 ROTOR 20
2.1.2 STATOR 21
2.1.3 BUZENÍ ALTERNÁTORU 21
2.1.4 REGULACE ALTERNÁTORU 22
2.1.5 USMĚRŇOVAČ 25
2.1.6 VENTILÁTOR 26
2.1.7 VÍKA ALTERNÁTORU 26
2.1.8 ŘEMENICE 27

2.2 ČINNOST A ZAPOJENÍ ALTERNÁTORU **28**

2.2.1 PROVEDENÍ BUDÍCÍHO OBVODU 28
2.2.2 BUDÍCÍ OBVODY 28
2.2.3 HLAVNÍ OBVOD 31

3 PROVEDENÍ AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ **32**

3.1 TYPY AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ **33**

3.1.1 ALTERNÁTORY S KLASICKOU KONSTRUKCÍ 33
3.1.2 DVOJITÝ ALTERNÁTOR 34
3.1.3 ALTERNÁTORY S VYNIKLÝMI PÓLY 35

3.2 DVA TYPY NEJČASTĚJI POUŽÍVANÝCH ALTERNÁTORŮ **36**

3.2.1 ALTERNÁTOR S DRÁPKOVÝM ROTOREM 36
3.2.2 BEZKROUŽKOVÝ ALTERNÁTOR 37

4 MOŽNOSTI INOVACE AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ **39**

4.1 KLASIFIKACE ZTRÁT V ELEKTRICKÝCH STROJÍCH **39**

4.2 ELEKTRICKÉ ZTRÁTY **39**

4.2.1 ZTRÁTY VE VINUTÍ KOTVY 39
4.2.2 ZTRÁTY V BUDÍCÍM VINUTÍ 40

4.2.3 DODATEČNÉ ELEKTRICKÉ ZTRÁTY 40
4.3 MAGNETICKÉ ZTRÁTY 40
4.3.1 HYSTEREZNÍ ZTRÁTY 40
4.3.2 ZTRÁTY VÍŘIVÝMI PROUDY 40
4.3.3 CELKOVÉ ZTRÁTY V ŽELEZE 41
4.3.4 DODATEČNÉ MAGNETICKÉ ZTRÁTY 41
4.4 MECHANICKÉ ZTRÁTY 41
4.4.1 ZTRÁTY TŘENÍM V LOŽISKÁCH A VENTILACÍ 41
4.5 MOŽNOSTI A PŘEDPOKLADY SNÍŽENÍ ZTRÁT AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ 41
4.5.1 SNÍŽENÍ MAGNETICKÝCH ZTRÁT 42
4.5.2 SNÍŽENÍ VENTILAČNÍCH ZTRÁT 42
4.5.3 ALTERNÁTOR S ŘÍZENÝM BUZENÍM 42
5 ANALYTICKÝ VÝPOČET ALTERNÁTORU 43
6 ZÁVĚR 49
LITERATURA 50
PŘÍLOHY 51

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1-1 Nabíjecí soustava alternátoru bez pomocného usměrňovače a polovodičovým regulátorem [11] *16*

Obrázek 1-2 Řez akumulátorem [3] *17*

Obrázek 2-1 Hlavní části alternátoru [14] *20*

Obrázek 2-2 Alternátor s drápkovým rotorem [8] *22*

Obrázek 2-3 Zapojení třífázového devítidiodového alternátoru s vibračním regulátorem [8] *23*

Obrázek 2-4 Polovodičový regulátor typu EE [5] *24*

Obrázek 2-5 Můstkové zapojení třífázového usměrňovače [10] *25*

Obrázek 2-6 Průběh napětí a proudů u třífázového můstkového usměrňovače [10] *26*

Obrázek 2-7 Zapojení hlavního a pomocného usměrňovače [12] *28*

Obrázek 2-8 Buzení pomocí akumulátoru [12] *29*

Obrázek 2-9 Obvod vlastního buzení [12] *30*

Obrázek 2-10 Hlavní obvod [12] *31*

Obrázek 3-1 Porovnání charakteristik dynama a alternátoru [10] *32*

Obrázek 3-2 Alternátor s klasickou konstrukcí [12] *33*

Obrázek 3-3 Dvojitý alternátor [12] *34*

Obrázek 3-4 Alternátor s vyniklými póly [12] *35*

Obrázek 3-5 Alternátor s drápkovým rotorem [12] *36*

Obrázek 3-6 Bezkroužkový alternátor [12] *37*

Obrázek 3-7 Rotor bezkroužkového alternátoru [12] *38*

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1-1 Napětí akumulátoru v závislosti na hustotě elektrolytu [2] *18*

Tabulka 5-1 Výpočet magnetického obvodu pro různé druhy plechů *48*

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

VELIČINA	NÁZEV	JEDNOTKA
2p	počet pólů	[-]
a	počet paralelních větví	[-]
A	proudové zatížení statoru	[A/m]
b_{1-3}	šířkové rozměry statoru	[m]
B	magnetická indukce	[T]
B_{js}	magnetická indukce jha statoru	[T]
B_{jr}	magnetická indukce v jádru rotoru	[T]
B_p	magnetická indukce v pólu rotoru	[T]
B_z	magnetická indukce zubu statoru	[T]
B_δ	magnetická indukce ve vzduchové mezeře	[T]
B+	kladný napěťový pól	**[-]**
B-	záporný napěťový pól	**[-]**
d_0	střední průměr kuličkového věnce	[m]
d_k	průměr jedné kuličky	[m]
D_r	vrtání statoru	[m]
D_e	vnější průměr statoru	[m]
DF	kladný pól regulátoru	**[-]**
DR	regulátor napětí	**[-]**
D+	výstup pomocného usměrňovače	**[-]**
D-	vstup pomocného usměrňovače	**[-]**
D_{1-7}	diody hlavního usměrňovače	**[-]**
D_{7-9}	diody pomocného usměrňovače	**[-]**
f	frekvence	[Hz]
F_m	magnetické napětí	[A]
G	hmotnost	[Kg]
h_{1-4}	výškové rozměry statorové drážky	[m]

H_{js}	intenzita magnetického pole jha statoru	[A/m]
H_{jr}	intenzita magnetického pole v jádru rotoru	[A/m]
H_p	intenzita magnetického pole pólu rotoru	[A/m]
H_z	intenzita magnetického pole zubu statoru	[A/m]
H_δ	intenzita magnetického pole vzduchové mezery	[A/m]
I_b	budící proud	[A]
I_f	fázový proud	[A]
I_{ss}	stejnosměrný proud alternátoru	[A]
I_{V1-6}	stejnosměrný proud alternátoru	[A]
K_q	činitel rozlohy	[-]
K_y	činitel kroku	[-]
K_c	Carterův činitel	[-]
K_h	koeficient hysterezních ztrát	[-]
K_d	činitel zhoršení magnetických vlastností materiálu	[-]
K_s	koeficient ztrát vířivými proudy	[-]
l_c	délka čela vinutí statoru	[m]
l_{js}	délka indukční čáry ve jhu statoru	[m]
l_{jr}	délka indukční čáry v jádru rotoru	[m]
l_p	délka indukční čáry v pólech rotoru	[m]
l_z	délka indukční čáry v zubu	[m]
m	počet fází	[-]
n	otáčky motoru	[min^{-1}]
n_z	počet desek v sérii usměrňovače	[-]
N_d	počet vodičů v drážce	[-]
N_s	počet vodičů v sérii jedné fáze	[-]
P	počet pólových dvojic	[-]
P_{Fe}	ztráty v železe	[W]
p_h	hysterezní ztráty	[W/kg]
P_{ss}	stejnosměrný výkon alternátoru	[W]
$P_{stř}$	střídavý výkon alternátoru	[W]
p_v	ztráty vířivými proudy	[W/kg]
q	počet drážek na pól a fázi	[-]

Q	počet drážek ve statoru	[-]
R	odpor vinutí	[Ω]
R_{20}	odpor vinutí při teplotě 20°C	[Ω]
R_s	odpor vinutí statoru při teplotě t	[Ω]
R_t	odpor vinutí při teplotě t	[Ω]
S_s	průřez statorového vodiče	[m^2]
t	teplota	[°C]
t_v	drážková rozteč	[-]
U	střední hodnota usměrněného napětí	[V]
U_{1S}	sdružené napětí	[V]
U_{1f}	fázové napětí	[V]
U_2	sdružené napětí alternátoru	[V]
U_b	napětí budícího vinutí	[V]
U_f	fázové napětí alternátoru	[V]
U_{js}	magnetické napětí jha statoru	[A]
U_{jr}	magnetické napětí v jádru rotoru	[A]
U_p	magnetické napětí v pólu rotoru	[A]
U_{ss}	stejnosměrné napětí alternátoru	[A]
U_z	magnetické napětí zubu statoru	[A]
U_δ	magnetické napětí ve vzduchové mezeře	[A]
U_k	napětí na kartáčích a komutátoru	[V]
v	obvodová rychlost komutátoru	[m/s]
V	fáze V	**[-]**
V_{js}	výška jha statoru	[m]
VD_{1-6}	diody hlavního usměrňovače	**[-]**
VD_{7-9}	diody pomocného usměrňovače	**[-]**
W	fáze W	**[-]**
α	teplotní součinitel odporu	[K^{-1}]
δ	délka vzduchové mezery	[m]
ΔP	ztráty	[W]
ΔP_b	budící ztráty	[W]
ΔP_{Cu}	ztráty ve vinutí statoru	[W]

ΔP_k	ztráty na kartáčích	[W]
ΔP_{tk}	ztráty třením kartáčů	[W]
ΔP_{tl}	ztráty třením v ložiskách a ventilací	[W]
ΔU_z	úbytek napětí na jedné diodě	[V]
η_{us}	účinnost usměrnění	[%]
Δt	zvýšení teploty	[K]
μ_0	permeabilita vakua	[H/m]
μ_t	koeficient tření kartáčů	[-]
π	matematická konstanta	[-]
σ_s	proudová hustota statorového vinutí	[A/mm^2]
τ_p	pólová rozteč	[m]

Úvod

Alternátory jsou v současnosti nedílnou součásti každého nabíjecího systému v motorovém vozidle. Spolu s akumulátorem to jsou jediné zdroje elektrické energie v automobilu. Jedná se o elektrický stroj, který převádí rotační energii na energii elektrickou za využití principu elektromagnetické indukce. Neustálý vývoj automobilového průmyslu způsobuje, že rostou nároky na výrobu elektrické energie ve vozidle. Tento fakt je ovlivněn hlavně tím, že dnešní automobily obsahují velké množství příslušenství a elektroniky zaručující bezpečnost a komfort posádky. Z tohoto důvodu je potřeba věnovat velkou pozornost právě vývoji alternátorům, jelikož jejich účinnost je v současnosti pouze okolo 50%. Cílem této bakalářské práce je proto rozebrat nabíjecí systémy v automobilu se zaměřením na alternátory a navrhnout způsoby inovace, které by vedly ke zvýšení jejich účinnosti. Zjištěné teoretické souvislosti budou prověřeny výpočtem.

V následujících kapitolách budou postupně objasněny funkce jednotlivých částí nabíjecího systému, se zaměřením na automobilové alternátory. Budou zde rozebrány nejrůznější typy využívaných automobilových akumulátorů a alternátorů. Velká část je věnována konstrukčním řešením a možnostem inovace nejpoužívanějších typů alternátorů. V poslední řadě se práce zabývá analytickým výpočtem alternátoru, kde se pomocí zvětšení průřezu vodičů vinutí snažíme snížit ztráty ve vinutí statoru. Další možností inovace je použití plechů z kvalitnějších materiálů, které mají menší ztráty způsobené vířivými proudy. I tato možnost je zahrnuta a porovnána v analytickém výpočtu.

1 NABÍJECÍ SYSTÉM V AUTOMOBILU

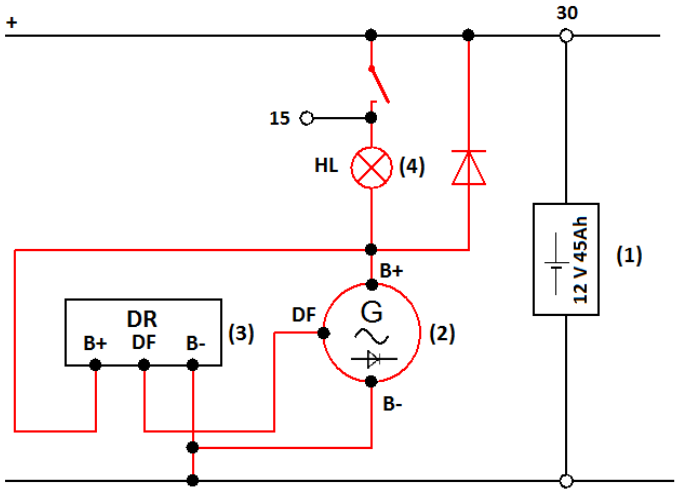
Jedná se o jednu z nejdůležitějších elektrických obvodových částí u motorových vozidel. Tato soustava se stará o samotnou výrobu elektrické energie, ale také o její zachování a akumulaci v autobaterii.

Jako základní (primární) zdroj elektrické energie považujeme rotační generátory, které jsou poháněny spalovacím motorem a pracují tedy pouze tehdy, pokud je motor automobilu v provozu. V současných automobilech tyto točivé stroje představují alternátory, které nahradily dříve používaná stejnosměrná dynama. Alternátory musí být schopny vyvinout takový výkon, aby s dostatečnou rezervou pokryly vlastní spotřebu motorového vozidla včetně doplňků, a také měly proudovou rezervu na dobíjení akumulátoru.

Akumulátor považujeme za vedlejší (sekundární) zdroj elektrické energie, který slouží k akumulaci energie, která je potřebná pro krytí spotřeby v době, kdy generátor nepracuje.

Mimo hlavní zdroj elektrické energie obsahuje tato soustava také regulátor, který slouží k regulaci napětí. V dnešní době se nejvíce využívá polovodičových regulátorů. Dalším prvkem vyskytující s nabíjecím obvodu je žárovka či jiné indikační zařízení, které oznamuje funkčnost případně stav v nabíjecím systému. Nedílnou součástí jsou také propojovací vodiče.

[5,10,11,16]



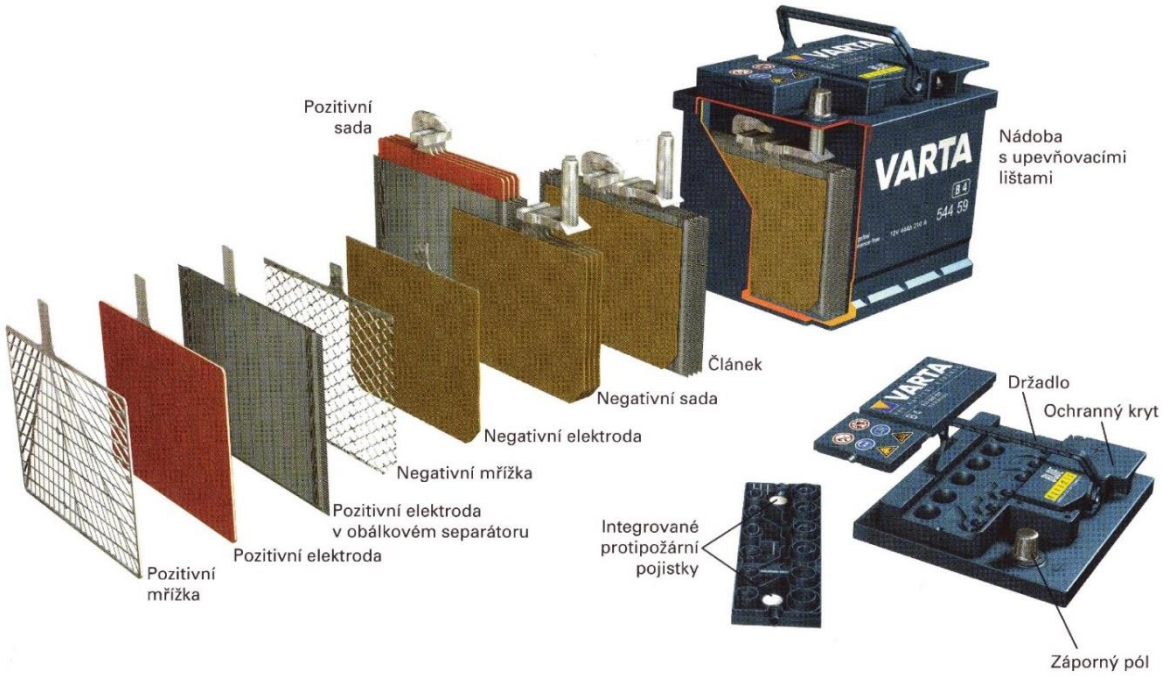
1-Akumulátor
2-Alternátor
3-Regulátor
4-Kontrolka dobíjení

Obrázek 1-1 Nabíjecí soustava alternátoru bez pomocného usměrňovače a polovodičovým regulátorem [11]

1.1 Akumulátor

Akumulátorové autobaterie řadíme do skupiny chemických zdrojů a jsou zásobníkem elektrické energie v automobilu. Jedná se o sekundární článek, který je potřeba nejprve nabít a poté je schopen sloužit jako zdroj elektrické energie. Chemické zdroje elektrické energie řadíme mezi zdroje stejnosměrného proudu, které využívající elektrochemických reakcí k výrobě elektrické energie. Jsou složeny ze záporné elektrody (katody) a kladné elektrody (anody), mezi něž je vložen separátor (deska z nevodivého materiálu). Všechny tyto části jsou ponořeny v elektrolytu, ten je tvořen roztokem kyseliny sírové a destilované vody. Tuto sestavu nazýváme článkem. Materiál elektrod a druh elektrolytu určují velikost napětí článku. Velikost napětí celého akumulátoru určuje počet článků zapojených sériově. Kapacita zdroje je závislá na velikosti a počtu elektrod. Kapacitou zdroje se nazývá množství elektrické energie, které je schopen akumulátor vydat při vybíjení ze zcela nabitého stavu. Udává se v ampérhodinách (zkratka Ah). Akumulátor kapacity 80Ah lze např. vybíjet 10 hodin proudem 8A nebo třeba proudem 4A po dobu 20 hodin apod. Kapacitu lze zvětšit paralelním zapojením baterií stejného typu. Velikost akumulátoru se určuje podle potřebného proudu pro spouštěč. Čím vyšší má kapacitu, tím je menší jeho vnitřní odpor a větší proud, který je schopný dodat do spouštěče. Mezi vlastnosti, které se u akumulátoru motorových vozidel vyžadují, patří hlavně nízká cena, vyhovující životnost, spolehlivost a nenáročnost na obsluhu.

[1,2,3,4,16]



Obrázek 1-2 Řez akumulátorem [3]

1.1.1 Olověný akumulátor

Jedná se o sekundární galvanický článek s elektrodami na bázi olova. Pokud se akumulátor nachází v nabitém stavu, tvoří aktivní hmotu záporné elektrody houbovité olovo (Pb) a u kladné elektrody oxid olovičitý (PbO_2). Jako elektrolyt zde slouží zředěná kyselina sírová (H_2SO_4) o hustotě 1,265 $g \cdot cm^{-3}$, v případě plně nabitého akumulátoru. Z technických důvodů může být tento roztok nasáknutý do vaty ze skelných vláken nebo ztužen do formy gelu. Při vybíjení dochází k chemické reakci, kdy se aktivní hmota kladné a záporné elektrody přeměňuje na síran olovnatý ($PbSO_4$) a elektrolyt je ochuzován o kyselinu sírovou a obohacován o vodu. Dochází tedy k tomu, že při vybíjení klesá koncentrace elektrolytu a při nabíjení naopak jeho koncentrace roste.

Mezi hlavní výhody olovněných akumulátorů paří schopnost dodávat vysoké rázové proudy, a to díky tomu, jelikož mají velmi nízký vnitřní odpor. Toho se využívá zejména při startování automobilu, kdy dochází k velkým odběrům proudu. Napětí naprázdno jednoho nabitého článku při pokojové teplotě je přibližně 2,12 V. Z tohoto důvodu používá zapojení několika článku za sebou. V automobilech se nejčastěji používá šesti článkové baterie tj. 12 V, případně tří článkové v podobě 6 V baterie. Energie akumulátoru se pohybuje okolo 30-40Wh/kg. Vyrábějí se v kapacitách 1 až 10 000 Ah. Mezi hlavní nevýhody tohoto typu akumulátoru je velká hmotnost způsobená převážně hustotou olova.

[2,4]

Stupeň nabití [%]	Hustota elektrolytu [$g \cdot cm^{-3}$]	Napětí na prázdno [V]
100	1,265	12,65
75	1,225	12,45
50	1,19	12,24
25	1,155	12,06
0	< 1,12	< 11,89

Tabulka 1-1 Napětí akumulátoru v závislosti na hustotě elektrolytu [2]

1.1.2 Akumulátory s vázaným elektrolytem-AGM

AGM článek se skládá z množství kladných a záporných elektrod, jenž jsou odděleny speciálním separátorem tvořeným pomocí skelných vláken dotovaným bórem, jenž těsně přiléhá na jednotlivé mřížky. Výhodou této konstrukce separátoru je vynikající iontová vodivost, která umožnuje rychlý průnik plynů a výbornou schopnost vázat elektrolyt. Dále tato konstrukce snižuje pravděpodobnost mezimřížkových zkratů, drolení aktivní hmoty, díky tomu dosahuje akumulátor daleko vyšší životnosti a snižuje vznik sulfatace elektrod. V tomto typu akumulátoru je elektrolyt vázán (vsáklý) v separátoru. To znamená, že AGM akumulátor nemá zaplavené elektrody a uvnitř nenajdeme tzv. „hladinu“ elektrolytu. Výhodou této konstrukce je, že nehrozí unik elektrolytu při naklopení či převržení akumulátoru. Další výhoda je velký podaný výkon za nízkých teplot, vysoká odolnost vůči otřesům, nízká hmotnost při vysoké kapacitě a absolutní bezúdržbovost.

[4]

1.1.3 Gelový akumulátor

Konstrukce je podobná jako u všech jiných akumulátorů, základní části tvoří sestava kladných a záporných mřížek oddělených běžným separátorem. Rozdíl je ovšem ve složení elektrolytu, který je vázán v tixotropním křemičitém gelu SiO_2, který je aditivován dalšími látkami. Stejně jako u AGM akumulátoru ani zde nehrozí unik elektrolytu při převržení. Gelová konstrukce má nižší citlivost na provozní teplotu, tudíž klesá riziko teplotního zkratu. Což by mohlo mít za důsledek destrukci akumulátoru. Nehrozí zde žádné riziko sulfatace elektrod a i tyto akumulátory považujeme za bezúdržbové. Gelové baterie našly uplatnění například ve vojenské technice a to hlavně z důvodu jejich vysoké spolehlivosti.

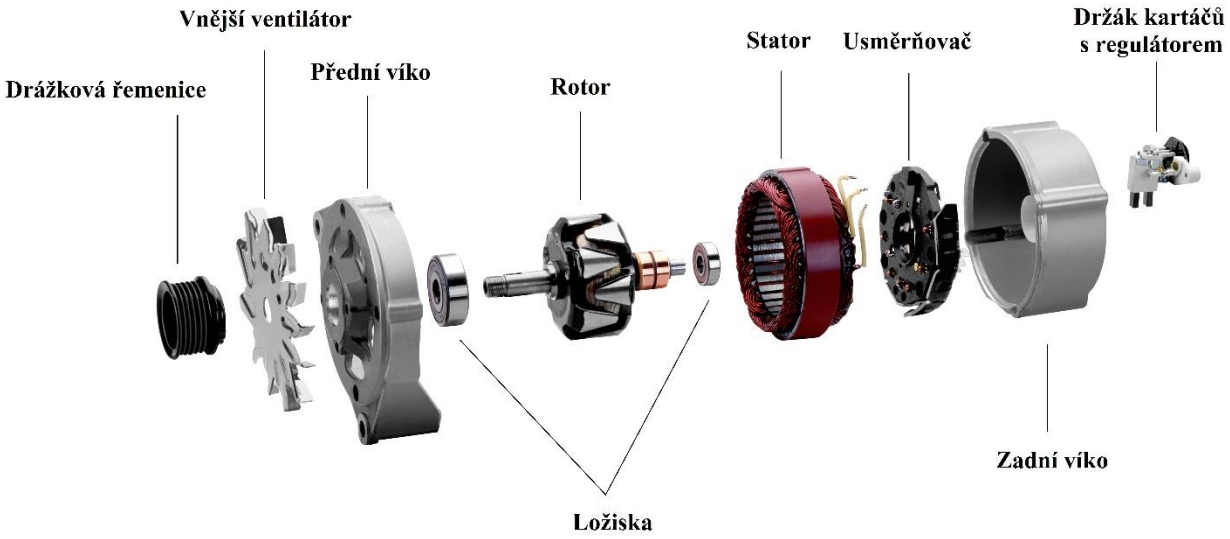
[4]

2 ALTERNÁTOR

Alternátory řadíme mezi synchronní točivé elektrické stroje, které pracují v generátorickém režimu. Jedná se tedy o tzv. elektrický generátor přeměňující kinetickou energii rotačního pohybu, na energii elektrickou ve formě střídavého proudu. Alternátor využívá elektromagnetické indukce - ve vodiči se indukuje napětí v případě, že se vodič a magnetické pole vůči sobě pohybují.

V automobilech nejčastěji nalezneme alternátor uchycený na bloku motoru, kde je pomocí drážkovaného řemene vedeným přes řemenici, spojen s hnací hřídelí motoru. Spolu s autobaterii se jedná o jediný zdroj elektrické energie ve vozidle.

[6,7]



Obrázek 2-1 Hlavní časti alternátoru [14]

2.1 Hlavní částí alternátoru

Každý alternátor obsahuje několik důležitých částí, které musí navzájem spolupracovat, ať už se jedná o mechanickou či elektrickou část.

2.1.1 Rotor

Jedná se o pohyblivou část alternátoru, na které je navinuta klasická cívka. Konce těchto cívek jsou připevněny na sběrný kroužek. Po obvodu se nacházejí pólové nástavce. U konstrukce moderních alternátorů je na rotoru připevněn interní ventilátor, sloužící k lepšímu chlazení. Oba konce rotoru jsou nalisovány na ložiscích, ve kterých se otáčí.

[7,9]

2.1.2 Stator

Jedná se o statickou část alternátoru, nejčastěji je tvořen třemi cívkami. Výkon statoru závisí na průřezu drátu nebo také na počtu vinutí jedné cívky. Cívky mohou být zapojeny do trojúhelníku nebo do hvězdy. Nejčastěji se používá zapojení do hvězdy.

[9]

2.1.3 Buzení alternátoru

V základu rozlišuje dva typy buzení alternátoru a to:

Alternátor s permanentním buzením

Jsou to nejjednodušší a nejspolehlivější alternátory, kde magnetický tok, který je nutný ke vzniku elektrického proudu, je vytvářen permanentními magnety. Díky technologii výroby těchto magnetů je možné vyrábět materiály, které vytvářejí značně silný a s časem se neměnící magnetický tok. Alternátory s permanentními magnety jsou nejčastěji uspořádány tak, že v magnetickém obvodu statoru je uloženo pracovní vinutí, ze kterého se odebírá potřebný proud pro provoz vozidla a na rotoru je upevněno několik párů permanentních magnetů tak, že se vždy střídá severní a jižní pól magnetu. Takové provedení je využito u alternátoru s vnějším rotorem. Vnější rotor má velký moment setrvačnosti a působí zároveň jako setrvačník pro plynulejší chod dvoudobých motorů. Tyto alternátory jsou součástí magnetových zapalování.

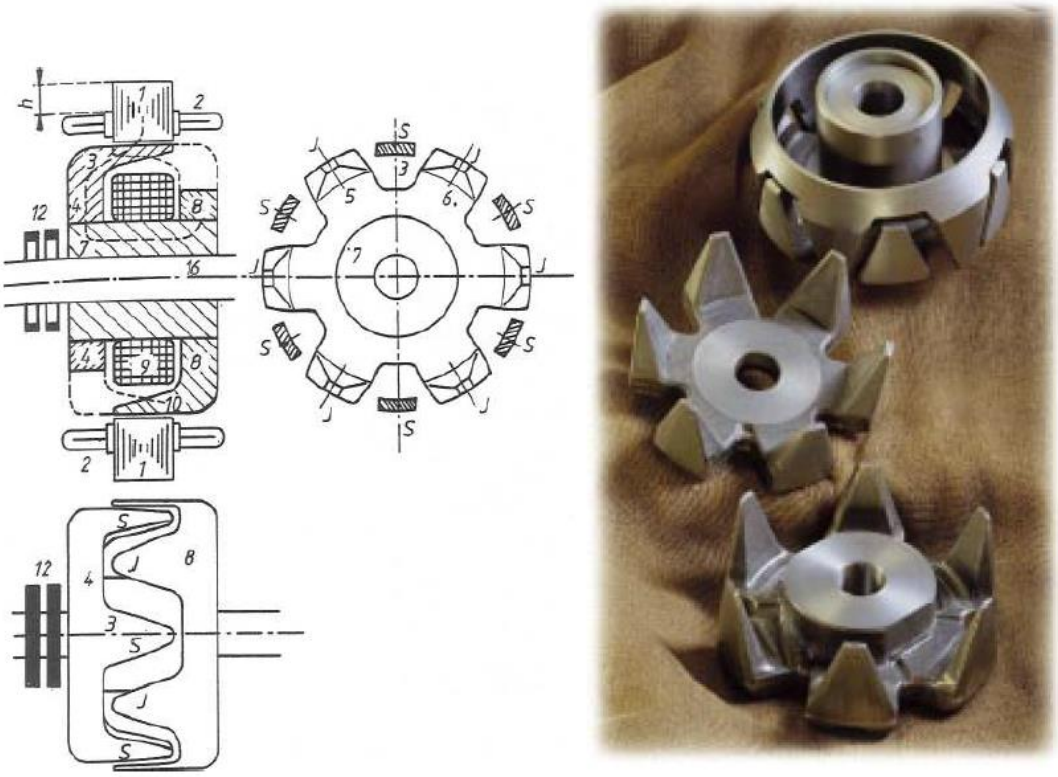
Alternátory s buzením permanentním magnetem mají velkou výhodu v tom, že nevyžadují regulaci, avšak jejich použití je možné pouze pro menší vozidla, nejčastěji starší motocykly.

[8,10]

Alternátor s budicím vinutím

Používá se u většiny typů alternátorů s drápkovým rotorem, které dodávají dostatečně velký výkon. Pro stejnosměrné buzení je ovšem nezbytně nutná regulace napětí. Na *obrázku 2-2* v drážkách statorového paketu (1) složeného z dynamových plechů, izolovaných na jedné straně, je uloženo trojfázové vinutí (2) pro *2p* pólů. Na rotoru jsou uloženy dvě lisované hvězdice (4, 8) z měkké oceli. Tyto mají na vnějším obvodě *P* drápkových pólů (např. 6). Dvě hvězdice jsou do sebe vloženy tak, že drápkové póly do sebe navzájem zasahují, tím pádem ve vzduchové mezeře působí *2p* drápkových pólů. Budicí cívka, která má tvar prstence (9) je napájena přes kroužky (12), budí všechny póly tak, že se střídají severní a jižní póly v obvodu. Hvězdice (4) nese severní póly a hvězdice (8) jižní póly. Magnetický tok vycházející ze severního pólu projde vzduchovou mezerou do statoru, vyvolá v něm magnetický tok a vrací se přes vzduchovou mezeru do jižního pólu statoru. Drápkové póly mají lichoběžníkový tvar, proto aby se měnil magnetický tok pozvolna a indukované napětí bylo blízké sinusovce.

[8,10]



Obrázek 2-2 Alternátor s drápkovým rotorem [8]

2.1.4 Regulace alternátoru

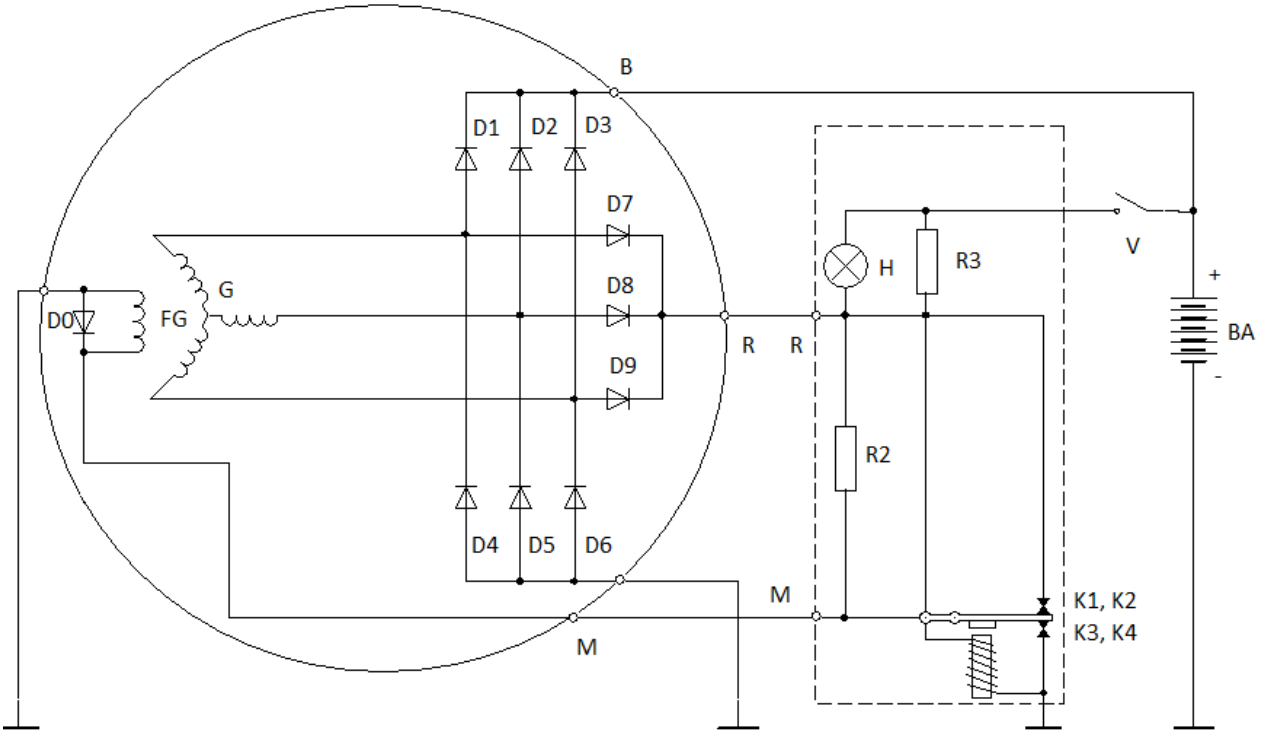
Každý alternátor musí být vybaven regulátorem, jelikož vozidla obsahují spotřebiče, které mění zatížení alternátoru podle jejich připojení. Regulace alternátoru je mnohem jednodušší než regulace dynama. Nemusíme zde řešit regulaci proudu, protože alternátor je schopen dávat proud jen určité velikosti a zároveň odpadá zpětný spínač, jelikož usměrňovač propouští proud pouze jedním směrem z vinutí alternátoru ke spotřebičům a akumulátorové baterii. Funkcí regulátoru je tedy udržovat výstupní napětí alternátoru na konstantní velikosti.

Regulace napětí alternátoru, buzeného stejnosměrným proudem, pracuje na zcela stejném principu jako napěťová regulace dynam. Regulační relé má funkci udržovat stejné napájecí napětí, změnou proud do budicího vinutí alternátoru, při různých otáčkách motoru i při různém odběru proudu. Mezi nejrozšířenější regulátory patřily donedávna regulátory vibrační, ty jsou však v dnešní době vytlačovány modernějšími a přesněji pracujícími regulátory polovodičovými.

[8,10]

Vibrační regulátor

Na *obrázku 2-3* je zobrazeno schéma zapojení tzv. devítidiodového alternátoru. Jako buzení a vibrační regulátor napětí je použito odděleného usměrňovače, sestávajícího z menších diod D7, D8, D9, které s diodami D4, D5, D6 tvoří trojfázový můstek. Alternátor se při malých otáčkách nemůže sám nabudit, proto musí být budicí obvod při nízkých otáčkách napájen z akumulátorové baterie. Pro cizí buzení je použit proud z akumulátorové baterie BA přes spínač V, přes kontrolní žárovku H a k ní paralelně připojený rezistor R3, sepnuté kontakty Kl, K2 ke svorce M a přes kroužky do budicího vinutí.



Obrázek 2-3 Zapojení třífázového devítidiodového alternátoru s vibračním regulátorem [8]

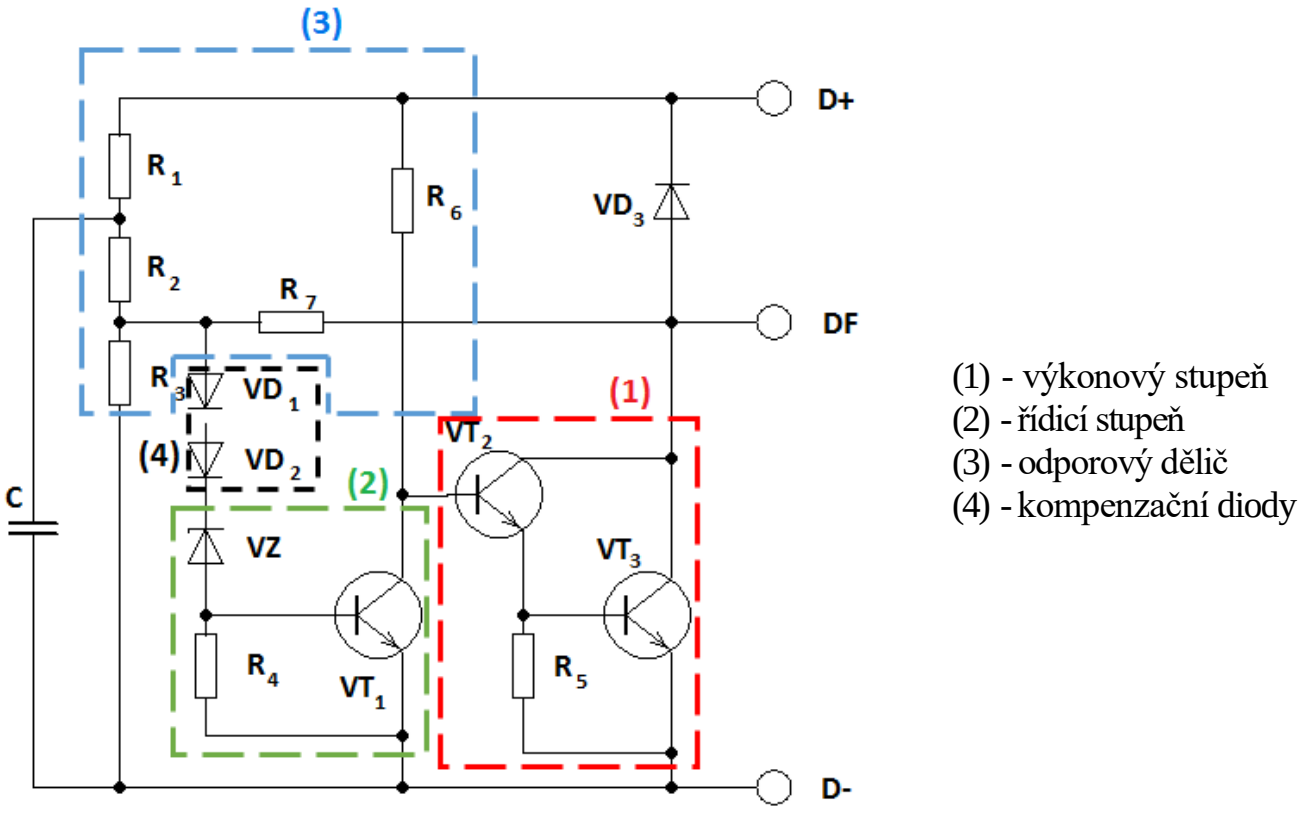
[8,10]

Polovodičové regulátory

Jedná se o regulátory, které jsou sestaveny z diskrétních součástek (tranzistory, diody, tyristory). Mezi vlastnosti polovodičových regulátorů patří, možnost krátké doby spínání, odolnost vůči vibracím, žádné opotřebení a hlavně malé rozměry umožňující montáž regulátoru přímo do alternátoru. Na *obrázku 2-4* zobrazeno jedno z možných konstrukčních zapojení polovodičového regulátoru, v tomto případě se jedná o typ EE od firmy BOSCH.

Tento regulátor je osazen třemi tranzistory NPN. Tranzistor VT_1 vytváří řídící stupeň (2), báze tranzistoru je napájena pomocí odporového děliče (3) složeného z rezistorů R_1, R_2, R_3 a prochází přes zenerovu diodu VZ. Oba konce děliče jsou spojeny dvojicí svorek D+ (kladná svorka) a D- (záporná svorka). Zenerovu diodu zde využíváme ke spínání tranzistoru VT_1 a v případě zapojení s diodami VD_1 a VD_2, slouží k teplotní kompenzaci (4). Tranzistory VT_2 a VT_3 tvoří výkonový stupeň (1) a jsou zapojeny do Darlingtonova zapojení mezi svorky budícího vinutí DF a D-. Výkonový stupeň zde plní funkci spínače, jehož rychlost závisí na použitém rezistoru R_5. Pokud dojde k přerušení budícího obvodu polovodičovým spínačem, vzniká díky vlastní indukčnosti budícího vinutí napěťová špička. Toto napětí může dosáhnout hodnoty i několika set voltů, přičemž by tato napěťová špička mohla poškodit tranzistory VT_2 a VT_3. Z toho důvodu je paralelně k budícímu vinutí zařazena ochranná dioda VD_3.

[5]

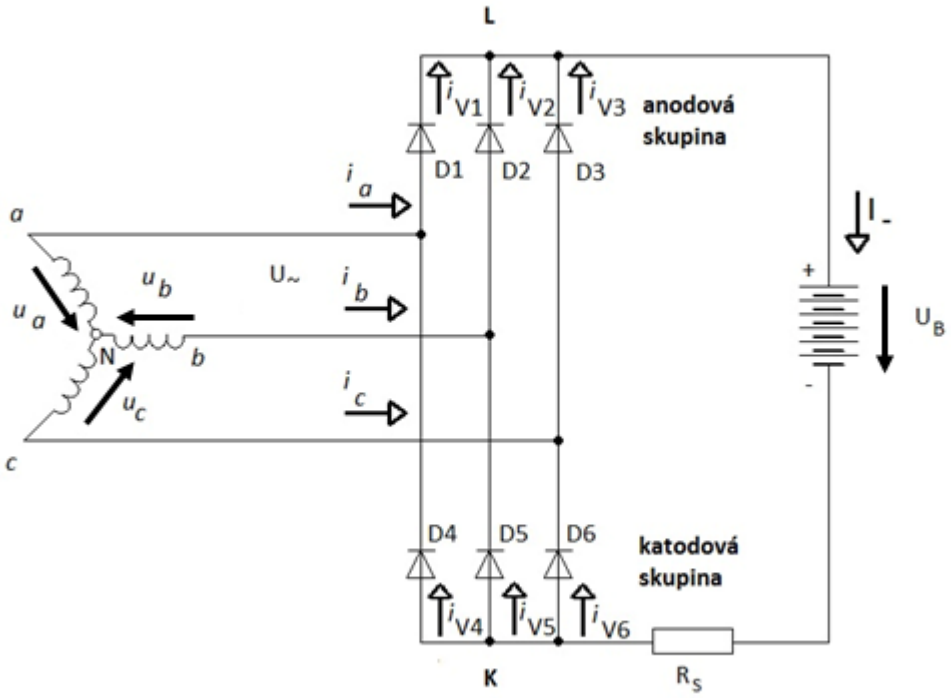


Obrázek 2-4 Polovodičový regulátor typu EE [5]

2.1.5 Usměrňovač

Dochází zde k usměrnění střídavého napětí, které alternátor vyrábí. K usměrnění se používá většinou můstkového zapojení polovodičových diod. Příklad takového můstkového zapojení je na *obrázku 2-5*. Tento usměrňovač využívá obou půlvln napětí alternátoru, což umožnuje lepší využití alternátorového vinutí.

Jednotlivé průběhy proudu jsou zakresleny na *obrázku 2-6*. V můstkovém zapojení prochází proud vždy jednou diodou anodové skupiny diod (1, 2, 3) a jednou diodou katodové skupiny diod (4, 5, 6). Pokaždé mezi sebou komutují stejné skupiny diod. V bodě A přestává procházet proud diodou 1 a začíná procházet diodou 2, poté bodem B přestává proud procházet diodou 6 a začíná procházet diodou 4. Pokud zanedbáme reaktanci alternátoru, dochází komutace okamžitě.

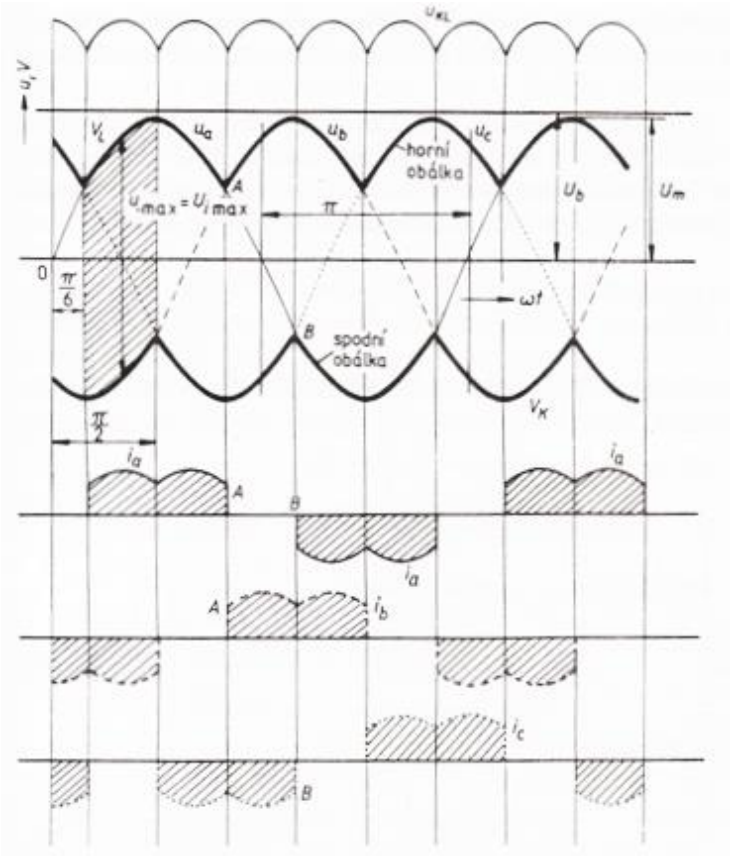


Obrázek 2-5 Můstkové zapojení třífázového usměrňovače [10]

Horní tři diody D1, D2 a D3 představují trojpulzní usměrňovač, který usměrňuje kladná napětí z alternátoru (horní obálka V_L). Dolní diody D4, D5 a D6 pak usměrňují záporná napětí (spodní obálka V_K). Výsledkem je šestipulzní usměrněné napětí, jehož okamžitá velikost je rovna rozdílu obou napětí V_L - V_K. Ze tří kladných fázových napětí a tří záporných nastane ve výstupním usměrněném napětí šest pulzů za jednu periodu. Velikost takového usměrněného napětí je možno odvodit ve tvaru.

$$U = 1{,}35 \cdot U_{1S} = 2{,}34 \cdot U_{1f} \ \text{[V]} \qquad (2.1)$$

Ve kterém je U střední hodnota usměrněného napětí, U_{1S} je sdružené napětí alternátoru a U_{1f} je fázové napětí alternátoru.



Obrázek 2-6 Průběh napětí a proudů u třífázového můstkového usměrňovače [10]

[8,9,10]

2.1.6 Ventilátor

Úkolem ventilátoru je chlazení alternátoru, který se při provozu zahřívá. U starších typů alternátorů bylo používáno externího ventilátoru tzv. větrák. Tento byl uchycenu z venku u zadního víka. Jednalo se však o málo účinnou metodu chlazení, proto se u moderních kompaktních alternátorů využívá technologie interního větrání. Ventilátor je integrován přímo na rotoru alternátoru. Obvykle je umístěn na obou stranách rotoru.

[9]

2.1.7 Víka alternátoru

Primární funkcí předního a zadního víka je sloužit jako ochranný obal alternátoru. Je mezi ně upnut stator alternátoru, který je upevněn a spojen svorkovými šrouby. V mnoha případech slouží i jako chlazení diodového můstku, který bývá upevněn na zadním víku. Dále zadní víko slouží k uložení zadního kuličkového ložiska rotoru.

[9]

2.1.8 Řemenice

Je upevněna na hřídeli rotoru, který prochází předním víkem. Pohon je veden od klikového hřídele motoru pomocí jednoho a více drážkových řemenů. Tyto řemeny jsou vyrobeny z velmi pružných a odolných materiálů, které umožnují obepnutí i řemenice malých průměrů. Díky tomu je dosaženo velkých převodových poměrů. Jedná se o tzv. převod do rychla. Nově se používá řemenice s volnoběžkou, která eliminuje opotřebení řemene a snižuje kolísání napětí.

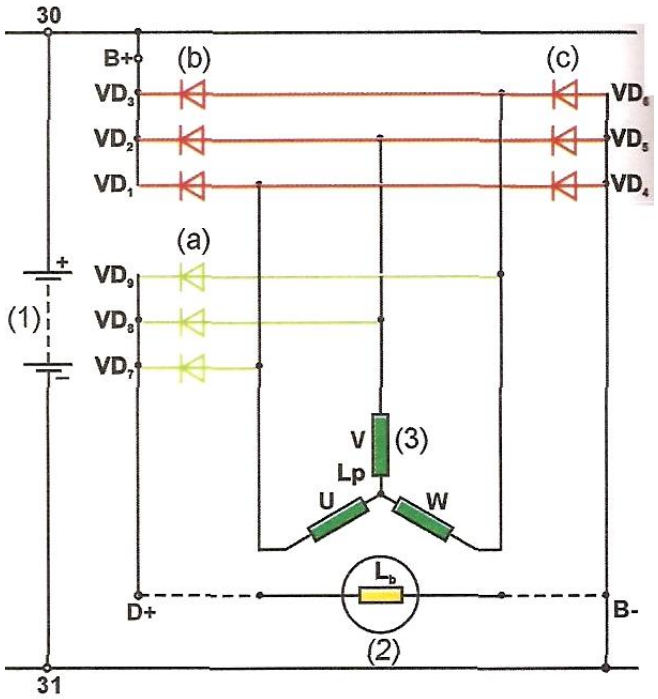
[9]

2.2 Činnost a zapojení alternátoru

2.2.1 Provedení budícího obvodu

Ve většině případů se u alternátorů používá cizí buzení z akumulátoru, ale existují i případy, kdy se odebírá budící proud z pracovního vinutí. Při rozběhu je tak magnetické pole rotoru tvořeno remanentním magnetismem drápkových pólu. V celé *kapitole 2.2* je čerpáno ze zdroje [12].

Na *obrázku 2-7* je znázorněno zapojení hlavního a pomocného usměrňovače, zde je možnost odebírat budící proud přímo z hlavního usměrňovače (svorky B+ a B-), zapojení je většinou doplněno o obvod pomocného usměrňovače, který je osazen třemi diodami VD7 až VD9 ty spolu s diodami VD4až VD6 tvoří trojfázový můstek. Kladný pól pomocného usměrňovače je přiveden na svorku D+, záporný pól je přiveden na svorku B-. Napájení budícího vinutí je přivedeno ze svorek D+ a B-.



1-Akumulátor

2-Budící vinutí L_b

3-Pracovní vinutí L_p

a-diody pomocného usměrňovače

b-kladné diody

c-záporné diody

Obrázek 2-7 Zapojení hlavního a pomocného usměrňovače [12]

U alternátoru rozlišujeme dva obvody:

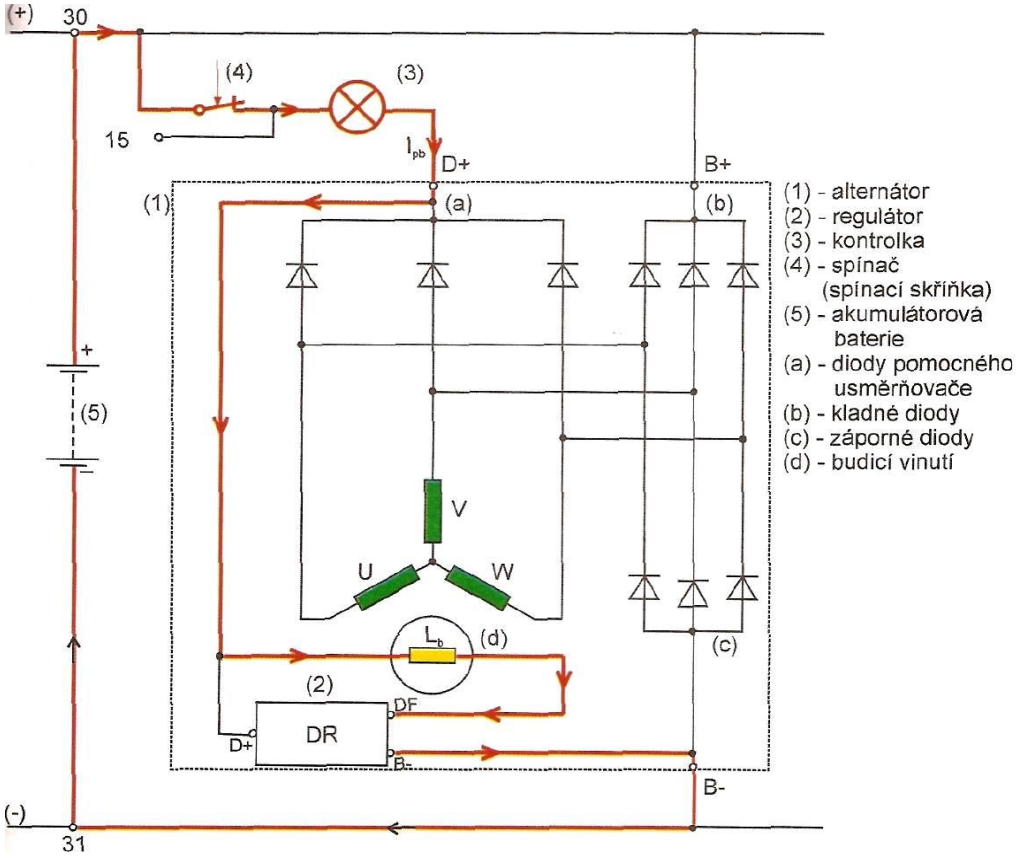
- Budící obvod (buzení pomocí akumulátoru a vlastní buzení)
- Hlavní obvod

2.2.2 Budící obvody

Buzení pomocí akumulátoru není nutné, ovšem bez jeho provedení nemůže alternátor dodávat proud po spuštění motoru, pokud jeho otáčky nedostáhnou předepsané velikosti, která je vyšší než

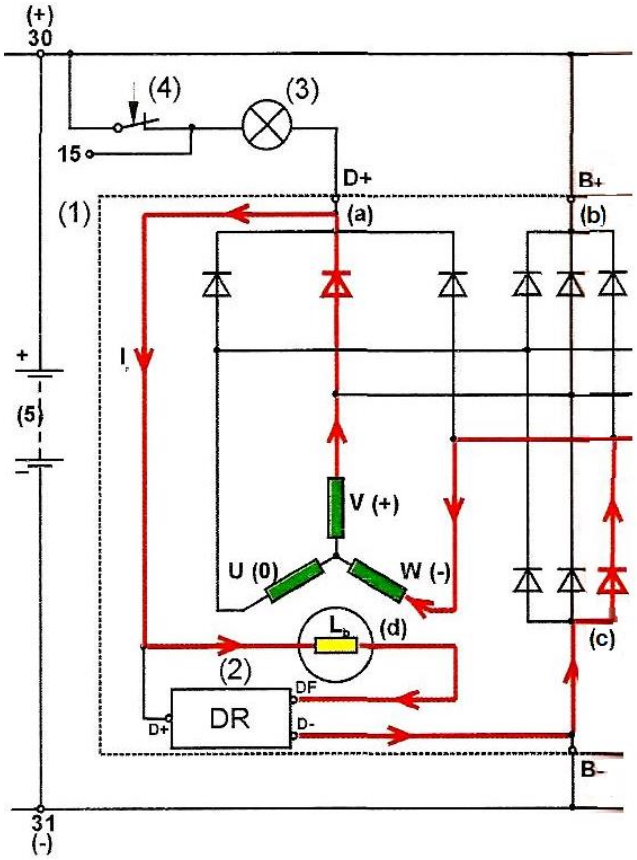
otáčky volnoběžné. Při rozběhu je magnetické pole rotoru vyvoláno zbytkovým magnetismem drápkových pólu, ovšem toto magnetické pole je velmi slabé a indikuje malé napětí v pracovním vinutí při nízkých otáčkách. Abychom mohli uvést pomocný usměrňovač do provozu, je nutné, aby byly otevřeny příslušné diody. Jelikož má usměrňovač v každé větvi dvě diody zapojené do série, je potřeba k jejich otevření minimální napětí 1,4 V. Problém je, že takové napětí při volnoběžných otáčkách nevzniká. Proto jsme nuceni toto napětí dodat z cizího zdroje, v našem případě z akumulátoru. Dojde-li k otevření diod, začne procházet budícím vinutím dostatečný proud, tehdy je již magnetické pole tak intenzivní, že probíhá vlastní buzení a to i při volnoběžných otáčkách.

V případě, že je sepnut spínač denních spotřebičů na *obrázku 2-8* (zapalovaní 4), prochází proud I_{pb} akumulátoru přes kontrolku (3), budící vinutí na rotoru (d) a svorku DF regulátoru (2) na kostru. Kontrolka (3) zde slouží jako rezistor, který stanovuje velikost proudu pro předbuzení. Pokud zvolíme správně příkon kontrolky, vytváří se budící proud požadované velikosti, což vede ke vzniku vlastního buzení. Pokud bychom zvolili příkon kontrolky příliš malý, je nutno ke kontrolce paralelně přiřadit rezistor, čím docílíme požadovaného vlastního buzení. Jestliže kontrolka svítí, je napětí na alternátoru nižší než na akumulátoru. Ke zhasnutí kontrolky dochází tehdy, jsou-li dosaženy takové otáčky, kdy svorkové napětí alternátoru je rovno provoznímu a výkon alternátoru se předává do sítě.



Obrázek 2-8 Buzení pomocí akumulátoru [12]

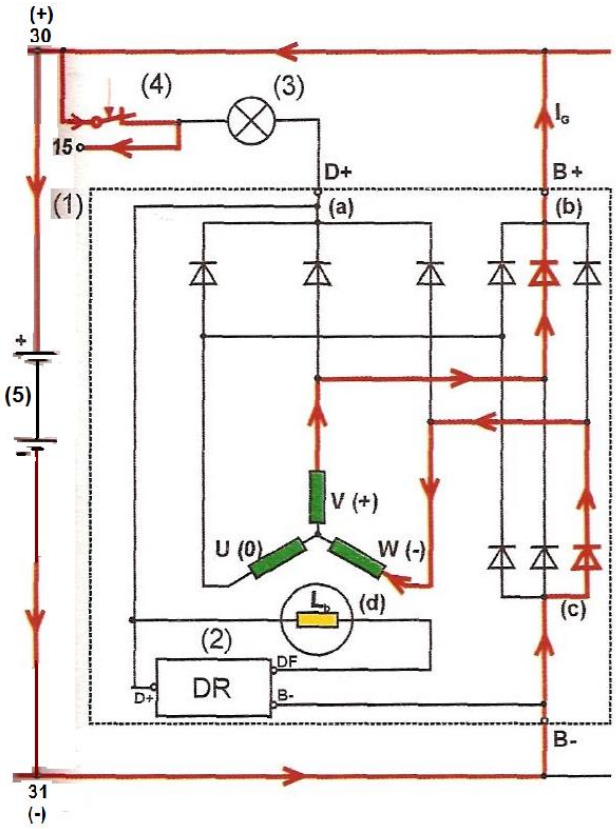
V obvodu vlastního buzení na *obrázku 2-9* má budící proud I_p za úkol při normálním provozu alternátoru vytvářet magnetické pole pomocí budícího vinutí. Toto magnetické pole obstará požadované napětí v pracovním vinutí statoru. Budící proud je zajišťován prostřednictvím hlavního proudu I_G. Budící proud I_p prochází přes diody usměrňovače (a), uhlíkové kartáče a sběrací kroužky do budícího vinutí rotoru (d), odtud dále na svorku DF regulátoru (2) a ze svorky D- přes diody katodové skupiny zpět do vinutí statoru. Pokud je již alternátor v chodu, není pro buzení potřeba žádného cizího zdroje. Buzení akumulátorem se využívá pouze tehdy, je-li alternátor v klidu.



Obrázek 2-9 Obvod vlastního buzení [12]

2.2.3 Hlavní obvod

Přes hlavní usměrňovač na *obrázku 2-10* je usměrněno střídavé napětí indukované v třífázovém vinutí statoru. Proud alternátoru I_G se rozdělí na proud, sloužící k dobíjení akumulátoru a proud určený pro napájení spotřebičů.



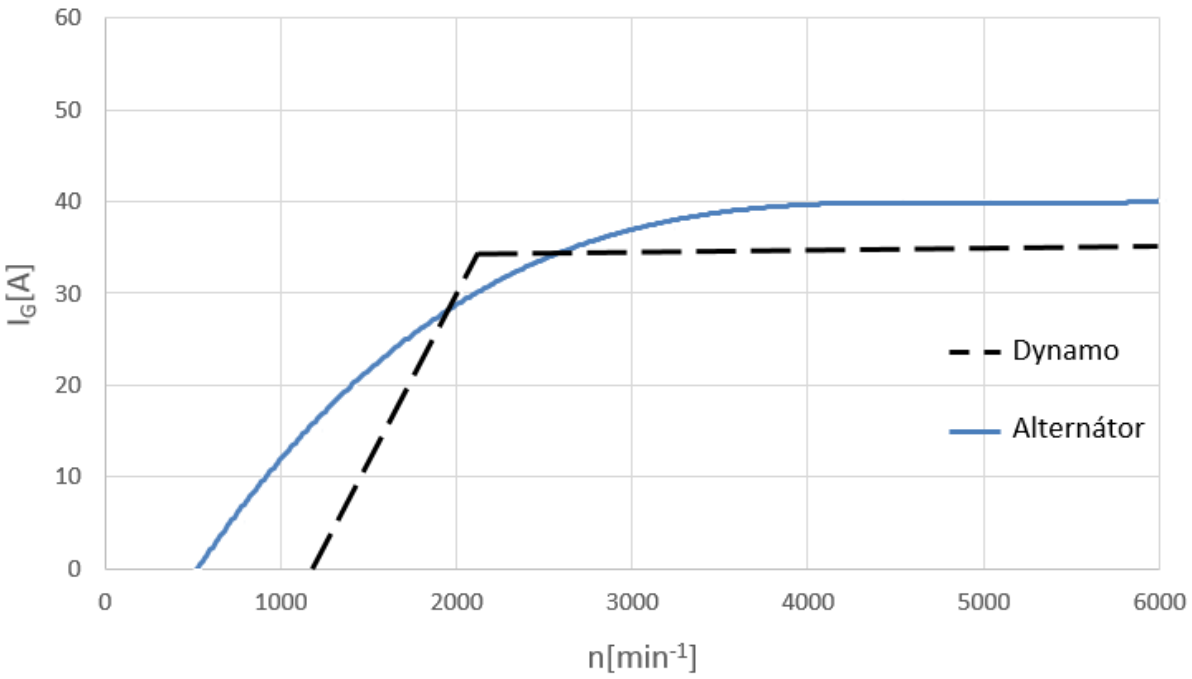
Obrázek 2-10 Hlavní obvod [12]

Proud I_G, který je indukovaný v jedné z fází (např. V) prochází přes jednu z kladných diod (b) na svorku B+ a dále přes akumulátor, či případně spotřebič na kostru (B-) a poté se zpátky vrací přes jednu ze záporných diod (c) zpět do vinutí statoru (fáze W).

3 PROVEDENÍ AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ

V současnosti se jako primární zdroje elektrické energie v automobilech využívá nejčastěji generátorů střídavého proudu, alternátorů. Nejrozšířenějším typem alternátoru v běžných osobních automobilech je třífázový synchronní alternátor drápkové konstrukce s elektromagnetickým buzením, doplněný usměrňovačem a regulátorem. Předchůdcem alternátoru byly v automobilovém průmyslu stejnosměrná dynama. Ty měla stejnou funkci jako alternátory tj. vyrábět elektrickou energii ve vozidle. Ovšem se zvyšujícími se nároky na výkon generátorů, byla nahrazena. Hlavní důvodem byla velká hmotnost dynama při porovnání s alternátorem stejného výkonu. Navíc i ty nejvýkonnější typy dosahovaly výkonu, kolem 350 W. Dalšími nevýhodami byla nemožnost dodávat ve volnoběžných otáčkách dostatek elektrického proudu pro napájení automobilových spotřebičů a zároveň nabíjet autobaterii. Součástí alternátoru je i usměrňovač, který umožnuje dodávat proud stále stejné polarity, bez ohledu na smysl otáčení. U dynama naopak změnou smyslu otáčení měníme i polaritu napětí. Ovšem i samotné alternátory mají své nevýhody. Například, pokud dojde k náhlému odlehčení alternátoru, který není připojen na akumulátor, dochází ke vzniku přepětí.

[8,10,16]



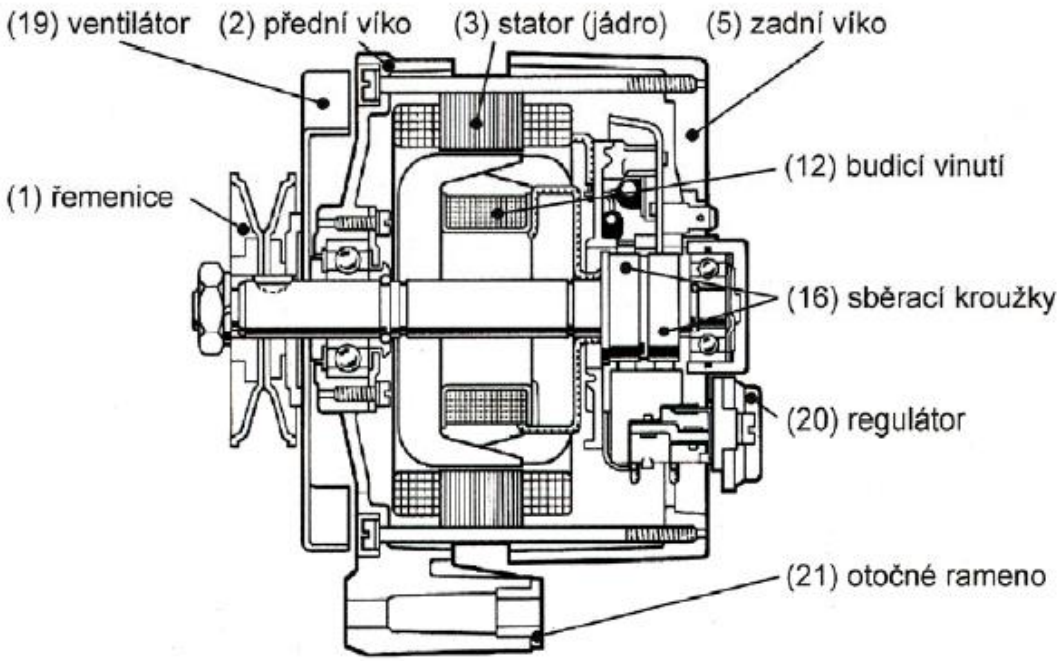
Obrázek 3-1 Porovnání charakteristik dynama a alternátoru [10]

3.1 Typy automobilových alternátorů

V dnešní době existuje několik typů používaných a vyráběných alternátorů, ať už pro osobní automobily nebo jiné typy vozidel. Právě v této kapitole si tyto jednotlivé typy alternátorů rozebereme a seznámíme se s jejich konstrukcí a principem činnosti.

3.1.1 Alternátory s klasickou konstrukcí

Tento typ alternátorů je určen pro osobní, ale taky pro užitková vozidla. U osobních automobilů se však vyskytují v menší míře. Většinou jsou tyto alternátory upraveny pro různé pracovní podmínky, například zvýšenou ochranou proti korozi nebo hadicovým adaptérem pro nasávání čerstvého vzduchu. Na *obrázku 3-2* je zobrazen průřez tohoto alternátoru.



Obrázek 3-2 Alternátor s klasickou konstrukcí [12]

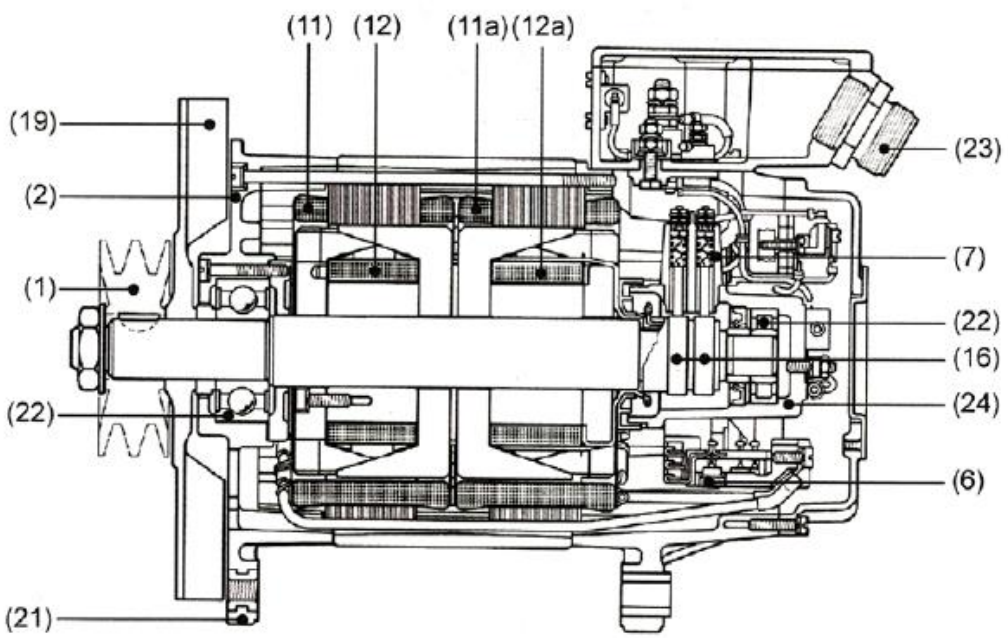
Alternátor je konstruován jako dvanáctipólový s vlastním buzením a je jednosměrně provětráván. Jádro statoru (3) není uchyceno do tělesa, ale je sevřeno mezi přední (2) a zadní víko (5). Rotor je ve víku uložen pomocí dvou kuličkových ložisek. Řemenice (1) a oběžné kolo ventilátoru (19) jsou umístěny na hřídeli před předním víkem. Budicí proud se přivádí do cívky (12) na rotoru sběracími kroužky (16) a kartáči uchycenými v držáku kartáčů, umístěném na diodovém víku. Šest hlavních diod a tři diody pomocného usměrňovače jsou zalisovány do chladiče. Usměrňovač se nachází uvnitř diodového víka.

[12]

3.1.2 Dvojitý alternátor

Alternátory určené pro vozidla odebírající větší množství proudu, jedná se hlavně vozidla veřejné dopravy, jako jsou autobusy a MHD. Tyto vozidla jsou provozována výhradně v městském provozu a vyžadují velkou změnu výkonu v širokém rozsahu otáček, včetně volnoběžných. Konstrukční řešení alternátoru je zachyceno na *obrázku 3-3*.

-



(1) - řemenice
(2) - přední víko
(6) - usměrňovač
(7) - držák kartáčů
(11) - pracovní vinutí 1
(11a) - pracovní vinutí 2
(12) - budicí vinutí 1
(12a) - budicí vinutí 2
(16) - sběrací kroužky
(19) - ventilátor
(21) - výkyvné rameno
(22) - valivé ložisko
(23) - průchodka
(24) - komora sběracích kroužků

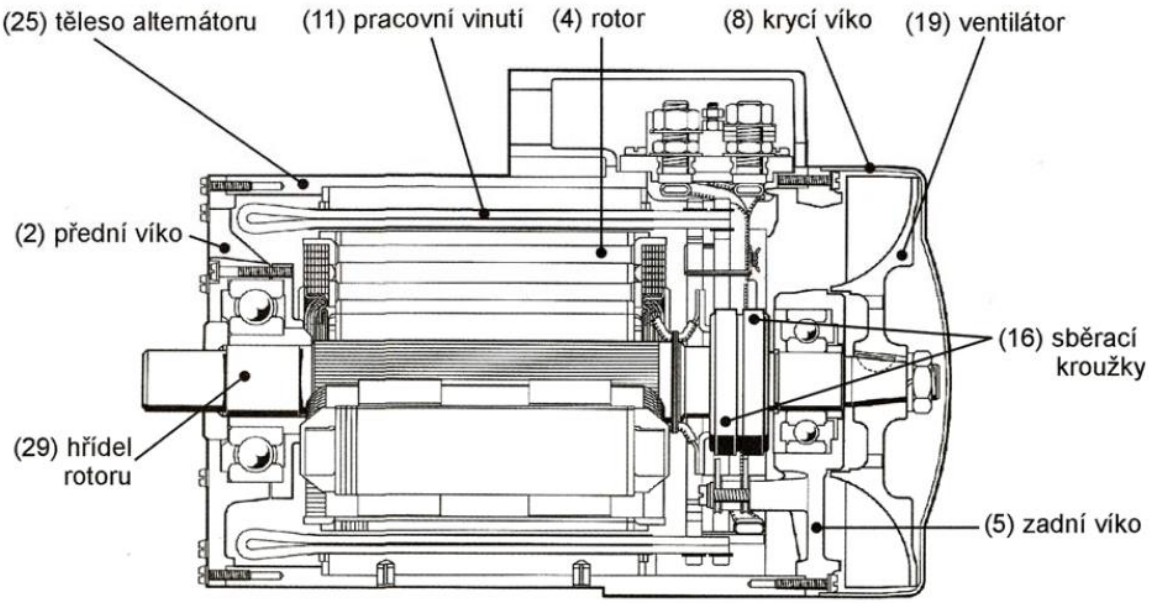
Obrázek 3-3 Dvojitý alternátor [12]

Úlohou tohoto alternátoru je dodávat dostatek energie nejen běžný automobilovým spotřebičům, ale také speciální zařízením zvyšující komfort ve vozidle. Alternátor vychází z principu mechanického a elektrického spojení dvou alternátorů do jednoho celku. Sběrací kroužky (16) a kartáče (7) se nachází v prachotěsném prostoru (24). Paralelně zapojené vinutí ovlivnilo i zapojení usměrňovače.

[12]

3.1.3 Alternátory s vyniklými póly

Tyto alternátory se používají pro vozidla s vysokými požadavky na odběru proudu (až 100 A) a jmenovitým napětím 24 V. Obsahují rotor se samostatnými póly (válcový rotor). Využívají se pro lodě či jinou velkou speciální techniku. Někdy se tento typ alternátorů označuje jako standartní.



Obrázek 3-4 Alternátor s vyniklými póly [12]

Rotor má čtyři až šest pólů a každý z nich je vybaven samostatným budicím vinutím. Tím pádem je u rotoru se vyniklými póly každý pól také samostatně buzen. Pokud srovnáme alternátor s předchozími typy, tak má tato konstrukce větší stavební délku a menší průměr. Na *obrázku 3-4* je ve válcovém tělese (25) stator s třífázovým pracovním vinutím (11) a odděleným chladičem se zalisovanými diodami. Těleso alternátoru je kryto předním (2) a zadním víkem (5), zde je uložen v kuličkových ložiskách rotor (4) a je vybaven budicím vinutím. Proud budicího vinutí přivádíme pomocí sběracích kroužků (16) a kartáčů. Pod plastovým víkem (8) je uložena hřídel rotoru (29) a ventilátor (19). Jelikož budicí proud je u těchto alternátorů značný, je regulátor oddělen od alternátoru a upevněn na místě chráněném před teplem motoru, vlhkostí a nečistotami. Propojení s alternátorem je realizováno pomocí šestipramenného vodiče, který je na obou koncích opatřen šestipólovými konektory. Alternátor je ošetřen proti vniknutí nečistot. Sběrací kroužky (16) jsou umístěny v prachotěsném prostoru a ložiska mají zvětšený prostor, kvůli mazání. Díky externě vyvedenému nasávání vzduchu, může alternátor dlouhodobě pracovat bez nutnosti údržby. U těchto alternátů, které slouží pro použití ve speciálních vozidlech s velmi značným odběrem proudu, může být umístěn mimo alternátor i usměrňovač. Zde je usměrňovač uložen ve speciálním, kapalinou chlazeném krytu.

[12]

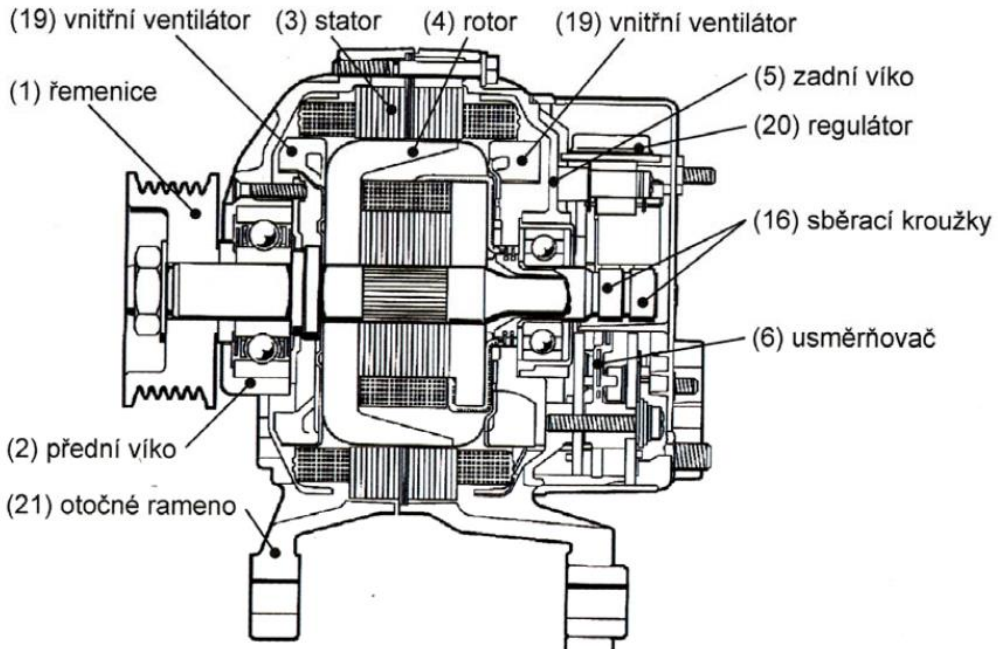
3.2 Dva typy nejčastěji používaných alternátorů

V této kapitole si podrobněji popíšeme dva vybrané druhy alternátorů. Jejich výhody a možnosti využití v praxi. Jedná se o alternátory s drápkovým rotorem a bezkroužkové alternátory.

3.2.1 Alternátor s drápkovým rotorem

Jedná se o nejrozšířenější typ automobilových alternátorů používaný v automobilovém průmyslu. Tyto alternátory jsou určeny hlavně pro osobní automobily, mohou však dodávat i značné proudy. Jejich hlavní využití je pro moderní motorová vozidla s nízkými volnoběžnými otáčkami. Zvýšení maximálních otáček alternátoru umožňuje zvýšení výkonu alternátoru při malých otáčkách. Někdy tento typ alternátorů nazýváme taky jako kompaktní.

[12]



Obrázek 3-5 Alternátor s drápkovým rotorem [12]

Princip činnosti

Rotor (4) na *obrázku 3-5* obsahuje dvě šestipólové hvězdice a celkově má rotor 12 pólů. Magnetický tok prochází přes jádro cívky do levé pólové hvězdice přes vzduchovou mezeru do jádra statoru (3), přes vzduchovou mezeru do pravé hvězdice a zpět do jádra. Při otáčení protínají indukční čáry magnetického pole vinutí všech tří fází. Jelikož má rotor celkem 12 pólů, bude každé vinutí za jednu otáčku protnuto celkem dvanáctkrát. Po průchodu každého pólu se indukuje kladná nebo záporná půlvlna. Z toho vyplývá, že počet půlvln indukovaných při jedné otáčce motoru je tedy 12 x 3 = 36. V jedné fázi je tedy šest celých vln indukovaného napětí.

[12]

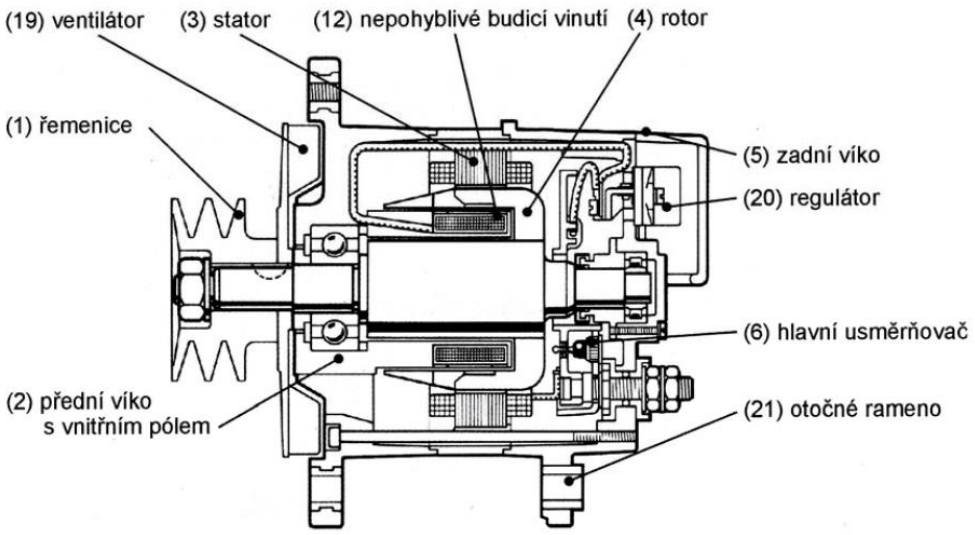
Konstrukce

Chlazení je řešeno dvouproudově, má dvanáctipólový drápkový rotor (4), sběrací kroužky malého průměru (16) a hlavní usměrňovač (6) je tvořen polovodičovými diodami, které omezují napěťové špičky a chrání spotřebiče před přepětím. Stator má třífázové pracovní vinutí, magnetické pole rotoru je buzeno vlastním stejnosměrným proudem. Použití modifikované navíjecí techniky umožňuje umístit v drážkách statoru více závitů a zlepšit tak stupeň využití statoru. Prodloužené střední plechy statoru, jejichž pomocí je upnuto jádro v tělese alternátoru a ustředěno mezi oběma víky (2 a 5), dovoluje dosažení velké přesnosti při montáži a nízké úrovně magnetického hluku. Drápkové póly mají zkosenou „odtokovou" hranu, což snižuje velikost hluku. Alternátor obsahuje dva ventilátory umístěné uvnitř, které nasávají vzduch čelními stěnami dovnitř ventilátoru. Sběrací kroužky (16) mají podstatně menší průměr, a díky tomu také nižší obvodovou rychlost. Jelikož má nižší obvodovou rychlost je také menší opotřebení jak kroužků, tak i kartáčů, a životnost alternátoru tak již není závislá na jejich opotřebení. Elektronický regulátor (20) je umístěn na držáku kartáčů a usměrňovač (6) je chráněn proti vnějším vlivům krytem z plastu. Alternátor je na motoru usazen pomocí otočného ramene (21).

[12]

3.2.2 Bezkroužkový alternátor

Tyto alternátory se nejčastěji používají u stavební strojů, u těžkých automobilů pro dálkovou dopravu a pro vysoce namáhaná speciální vozidla. Bezkroužkové alternátory obsahují pouze jedinou část, která podléhá opotřebení, a to jsou valivá ložiska. Význam těchto alternátorů spočívá v tom, že mohou pracovat dlouhou dobu bez přerušením a pod velkých zatížením. Základním principem, který toto zaručuje, je použití co nejmenšího počtu částí, u kterých dochází ke tření. Tento alternátor nepotřebuje prakticky žádnou údržbu, nemá totiž žádné sběrací kroužky ani kartáče a je chráněn proti vniknutí vlhkosti a prachu.

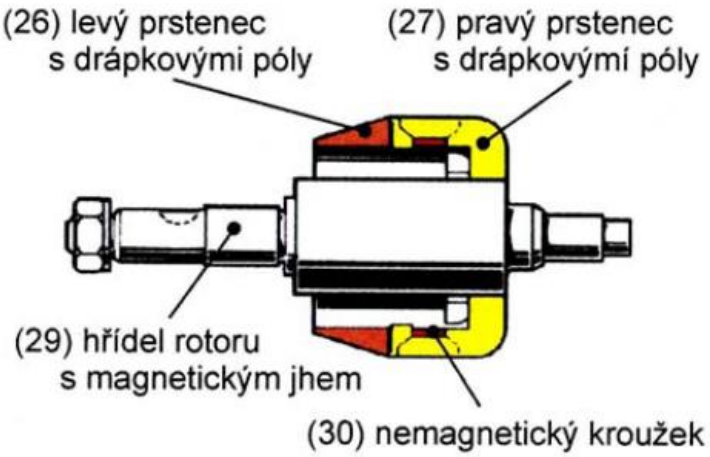


Obrázek 3-6 Bezkroužkový alternátor [12]

Princip činnosti

Alternátor na *obrázku 3-6* je vybaven vlastním buzením, jehož budicí proud se přivádí do nepohyblivého vinutí (12), které je umístěno na vnitřním pólu (2). Jelikož zbytkový magnetismus má dostatečnou velikost, není potřeba tyto alternátory budit pomocí akumulátoru. Budicí pole postupně magnetuje střídavě umístěné póly otáčejícího se rotoru (4). V pracovním vinutí statoru (3) indukuje rotující magnetické pole třífázový proud. Magnetické indukční čáry vycházejí z magnetického jha (29), které je součástí rotoru a prochází skrz vnitřní pól do levého prstence s drápkovými póly (26) stejné polarity a odtud do pracovního vinutí. Magnetický tok se uzavírá v magnetickém jhu přes naproti umístěnou druhou polovinu drápkových pólů (27). Oproti alternátorům se sběracími kroužky musí magnetický tok překonávat navíc dvě vzduchové mezery mezi stojícím budicím vinutím a otáčejícím se rotorem.

[12]



Obrázek 3-7 Rotor bezkroužkového alternátoru [12]

Konstrukce

Hlavním rysem konstrukce tohoto typu alternátoru je, že kromě tělesa s jádrem statoru, chladičů s diodami a zabudovaného regulátoru, patří mezi nepohyblivé části i budicí vinutí. Z tohoto důvodu nemusí být budicí proud přenášen do vinutí pomocí sběracích kroužků a uhlíků. Pohyblivé části tvoří rotor na *obrázku 3-7,* na kterém jsou umístěny dva prstence s drápkovými póly (26 a 27), přičemž jeden prstenec nese jižní a druhý severní póly. Oba prstence jsou spojeny nemagnetickou vložkou (30).

Kromě zde popsané konstrukce bezkroužkového alternátoru existují i jiné možnosti. Jednou z nich je uspořádání dvou točivých strojů, budiče a vlastního alternátoru, do jednoho celku. Nevýhodou tohoto provedení je ovšem značná složitost, velká hmotnost a problémy s chlazením alternátoru.

[12]

4 MOŽNOSTI INOVACE AUTOMOBILOVÝCH ALTERNÁTORŮ

Jelikož automobilový průmysl se neustále vyvíjí a přibývající elektronická příslušenství (výbava) automobilů jsou čím dál více závislá na zdroji elektrické energie, je potřeba inovovat i samotné alternátory. Zdroje energie v automobilu sice prodělaly značný pokrok, když byla stejnosměrná dynama nahrazena zmíněnými alternátory, ale i přesto dnes ty nejnovější typy dosahují účinnosti kolem 50%. Účinnost elektrických strojů určují ztráty. Jelikož elektrický stroj přeměňuje elektrickou energii na mechanickou, nebo mechanickou na elektrickou, je zřejmé, že tato změna energie s sebou nese jisté ztráty. Část vzniklé energie se proto mění v teplo a stroj zahřívá, toto teplo se odvádí do okolí a účinnost se zmenšuje. V celé této kapitole je čerpáno ze zdroje [13].

4.1 Klasifikace ztrát v elektrických strojích

Ztráty v elektrických strojích rozdělujeme na ztráty mechanické a ztráty elektromagnetické. **Ztráty mechanické** vznikají třením v ložiskách, třením kartáčů o komutátor, třením rotoru o vzduch a také ze ztrát, vzniklých vzduchovým chlazením. Dále pak ztráty způsobené třením rotoru o vzduch a chlazením nazýváme ventilační ztráty.
Ztráty elektromagnetické se skládají ze ztrát magnetický (ztráty v železe) a ztrát elektrických. Tyto dále dělíme na ztráty základní (hlavní) a dodatečné. Základní elektrické ztráty vznikají na odporech vodičů a mění se na teplo, podle Joulova zákona. Patří sem i ztráty vzniklé přechodem proudu přes kluzné kontakty. Ztráty v železe jsou způsobeny změnou magnetického toku v jednotlivých částech obvodu. Díky tomu dochází v těchto částech ke vzniku vířivých proudů, které způsobují ztráty a zahřívání obvodů. Další ztráty vznikají přemagnetizováním magnetického materiálu a jsou úměrné ploše hysterezní smyčky (tzv. hysterezní ztráty). Ztráty mechanické, ztráty v železe a dodatečné ztráty jsou způsobené pulsací magnetického pole, vyskytují se jak při chodu naprázdno tak i při zatížení. Proto se někdy nazývají ztrátami naprázdno.

4.2 Elektrické ztráty

V této podkapitole si uvedeme jednotlivé typy elektrických ztrát a vztahy umožňující jejich výpočet. Při zvýšení otáček rapidně klesají ztráty v buzení, jelikož se zvyšováním otáček klesá budící proud.

4.2.1 Ztráty ve vinutí kotvy

Ztráty vzniklé ve vinutí kotvy jsou dány odporem vinutí, přepočítaným na provozní teplotu

$$\Delta P_e = I_a^2 \cdot R \text{ [W]} \tag{4.1}$$

kde R je výsledný odpor vinutí kotvy. Se vzrůstající teplotou se odpor vinutí zvyšuje podle následujícího vztahu

$$R_t = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t) \text{ [Ω]} \tag{4.2}$$

Kde R_t – odpor vinutí při teplotě t

R_{20}– odpor vinutí při teplotě 20°C

α – teplotní odporový součinitel

Δt – zvýšení teploty

S teplotou rostou ztráty ve vinutí.

4.2.2 Ztráty v budícím vinutí

Ztráty v budícím vinutí jsou dány vztahem

$$\Delta P_b = R_b \cdot I_b^2 = \frac{U_b^2}{R_b} \text{ [W]} \quad (4.4)$$

Kde U_b je napětí na svorkách budícího vinutí.

4.2.3 Dodatečné elektrické ztráty

Tyto elektrické ztráty jsou způsobeny rozptylovým magnetickým polem. Dochází k tzv. skinefektu, kdy uprostřed vodiče prochází menší proud než na jeho povrchu.

4.3 Magnetické ztráty

Magnetické ztráty taky někdy nazýváme jako ztráty v železe.

4.3.1 Hysterezní ztráty

U každého točivého elektrického stroje se měnící se magnetický tok způsobuje ztráty přemagnetováním neboli hysterezní ztráty, ty jsou úměrné ploše hysterezní smyčky použitého magnetického materiálu. Celkové hysterezní ztráty závisí na hmotnosti železných částí magnetického obvodu, kmitočtu a druhé mocnině magnetické indukce (amplitudě). Pro výpočet používáme upraveného vzorce.

$$P_h = K_h \cdot \frac{f}{50} \cdot B^2 \text{ [W/kg]} \quad (4.5)$$

kde K_h= 2,2 pro dynamové plechy se ztrátovým číslem 2,6 W/kg

K_h= 1,5 pro dynamové plechy se ztrátovým číslem 1,3 W/kg

K_h= 1,2 pro transformátorové plechy

K_h= 4,4 pro ocel tř.11

4.3.2 Ztráty vířivými proudy

Pro výpočet ztrát vířivými proudy použijeme obdobný vztah. Ze vztahu platí, že ztráty závisí na druhé mocnině magnetické indukce, na čtverci frekvence a na druhé mocnině tloušťky plechu. Pro výpočet použijeme následující vzorec.

$$P_v = K_v \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2 \cdot B^2 \text{ [W/kg]} \quad (4.6)$$

4.3.3 Celkové ztráty v železe

Výsledný vztah pro celkové ztráty v železe získáme součtem jednotkových ztrát, vynásobením hmotností příslušné části a koeficientu K_d, tento činitel vyjadřuje zhoršení vlastností, vzniklých při opracování částí a nesinusovým průběhem magnetické indukce. Hodnota tohoto činitele se pohybuje v rozmezí od 1 do 2. Pak platí:

$$P_{Fe} = K_d \cdot G \cdot \left[K_h \cdot \frac{f}{50} + K_v \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^2\right] \cdot B^2 \text{ [W]} \qquad (4.7)$$

4.3.4 Dodatečné magnetické ztráty

Jedná se o ztráty, které jsou způsobeny zejména nesinusovým průběhem indukce ve vzduchové mezeře a dále také drážkováním statoru, rotoru a obojího. Tyto ztráty můžeme jen velmi přibližně stanovit výpočtem, jelikož je prakticky nemožné je oddělit (při měření) od ztrát vířivými proudy.

4.4 Mechanické ztráty

Tyto ztráty jsou způsobeny mechanickým třením mezi ložisky, kartáči atd… Dále zde řadíme ztráty způsobené ventilací (ventilační ztráty) a odporem vzduchu. Se zvyšujícími se otáčkami vzrůstají i mechanické ztráty.

4.4.1 Ztráty třením v ložiskách a ventilací

Jedná se o ztráty, které se velmi obtížně stanovují, ve většině případů se k jejich zjištění používá empirických vzorců. Ty ovšem platí pouze pro omezený rozsah rozměrů a výkonů stroje. Tento fakt je způsoben hlavně tím, že ztráty třením v ložiskách závisí na mnoha činitelích, které není možné analyticky vyjádřit. Při použití valivých ložisek, zejména pro malé elektrické stroje je možné použít tento vzorec.

$$\Delta P_{tl} = b \cdot \frac{d_é - d_k}{d_0} \cdot G_k \cdot n \cdot 10^{-6} \text{ [W]} \qquad (4.8)$$

kde b – závisí na druhu oleje (1-3)

d_0 – střední průměr kuličkového věnce (cm)

d_k – průměr jedné kuličky (cm)

G_k – hmotnost rotoru (kg)

n – otáčky (min^{-1})

4.5 Možnosti a předpoklady snížení ztrát automobilových alternátorů

V současné době se výrobci zabývají dvěma směry vývoje alternátorů. Jedná se o snižování hmotnosti, objemu a výkonu. Ovšem v budoucím vývoji se bude brát čím dál častěji do úvahy zlepšení výkonu a tím i zvýšení účinnosti. Díky tomu lze dosáhnout zmiňovaného snížení výkonu, odebíraného ze spalovacího motoru a tím i úspory paliva. V budoucnu bude vývoj alternátorů možná brát více v úvahu zvýšení výkonu snížením ztrát.

4.5.1 Snížení magnetických ztrát

Po uvedení alternátoru do provozu, dochází ke vzniku ztrát způsobenými vířivými proudy a hysterezí. Je zřejmé, že tyto ztráty není možné zcela odstranit, ovšem je možné snížit na nejmenší možnou hodnotu. Ze vztahu pro výpočet těchto ztrát vyplývá závislost na magnetické indukci, tudíž nejjednodušším řešením je snížení magnetické indukce. Toto řešení s sebou ovšem nese další nevýhody v podobě zvýšení hmotnosti a objemu aktivních částí.

Dále z výpočetních vztahů plyne, že ztráty způsobené vířivými proudy, můžeme snížit použitím tenčích plechů z materiálu s vyšším měrným odporem. Nejlepším materiálem pro použití jsou křemíkové plechy, ty jsou ovšem křehké a náročné na výrobu.

4.5.2 Snížení ventilačních ztrát

Z důvodu vysoké provozní teploty alternátoru (více než 100°C) je chlazení stroje nutností. Tato vysoká teplota je způsobena důsledkem vysoké proudové hustoty vinutí statoru až 35 A/mm^2. Nejčastějším řešením bývá ventilátor nasávající vzduch skrz celý alternátor, což způsobuje vznik ztrát a hluku, především při vysokých otáčkách alternátoru. Vývoje se tedy snaží snížit příkon ventilace pomocí několika způsobů.

Zdokonalit tvar ventilátoru, jeho rozměry a tlakové ztráty oběhu vzduchu. Pomocí tohoto řešení je možné dosáhnout snížení ztrát asi o 30%, ovšem snížení hluku je minimální.

Dalším řešením je použití oddělené ventilace. Jedná se o ventilátor, který je poháněn nezávisle na otáčkách alternátoru, pomocí elektromotoru. Tato varianta byla testována v laboratorních podmínkách na Ústavu výkonové elektrotechniky a elektroniky FEI VUT v Brně a za určitých podmínek vede ke snížení teploty vinutí a usměrňovače. Pomocí této metody je možné snížit ventilační ztráty až o 80%.

4.5.3 Alternátor s řízeným buzením

Jedním ze způsobů, jak co nejefektivněji využívat alternátor spočívá v tom, že jej uvedeme do činnosti pouze tehdy, pokud potřebujeme značný výkon na svorkách. Možným způsobem je využití výsuvné spojky (stejně jako u startéru), případně řízením regulátoru. Nejlepším řešením je úprava regulátoru. Současně s použitím tohoto řešení se přepokládá zlepšení podmínek pro nabíjení akumulátoru, aplikaci snímačů elektrolytu a úprava regulovaného napětí.

5 ANALYTICKÝ VÝPOČET ALTERNÁTORU

Výpočet trojfázového alternátoru s drápkovým rotorem 14 V/ 400 W

V této kapitole budou provedeny výpočty zadaného trojfázového alternátoru s drápkovým rotorem při jmenovité napětí 14 V, jmenovitém výkonu 400 W, jmenovitých otáčkách 2000 ot/min. V celé této kapitole je čerpáno ze zdroje [15].

Poměr mezi sdružením napětí před usměrňovačem a střední hodnotou usměrněného napětí za usměrňovačem je:

$$\frac{U_2}{U_{ss}} = 0{,}74 \tag{5.1}$$

Poměr mezi proudem jedné fáze alternátoru zapojeného do hvězdy a střední hodnoty usměrněného napětí za usměrňovačem je:

$$\frac{I_f}{I_{ss}} = 0{,}816 \tag{5.2}$$

Jelikož na deskách usměrňovače nastávají úbytky napětí platí, že pro poměr efektivního napětí před usměrňovačem je:

$$\frac{U_2}{U_{ss}+2n_z\cdot\Delta U_z} = 0{,}74 \tag{5.3}$$

Kde n_z značí počet desek zapojených v sérii do jedné větvi usměrňovače. Úbytek napětí, který vznikl na křemíkových diodách jedné desky usměrňovače:

$$\Delta U_z = 1{,}2\ V \tag{5.4}$$

Výpočet sdruženého napětí:

$$U_2 = 0{,}74 \cdot (U_{ss} + 2n_z \cdot \Delta U_z) = 0{,}74 \cdot (14 + 2 \cdot 1 \cdot 1{,}2) = 12{,}2\ V \tag{5.5}$$

Výpočet fázového napětí alternátoru:

$$U_f = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{12{,}2}{\sqrt{3}} = 7\ V \tag{5.6}$$

Výpočet stejnosměrného výkonu za usměrňovačem:

$$P_{ss} = P + \Delta P_b + \Delta P_R = 400 + 25{,}1 + 35 = 460{,}1\ W \tag{5.7}$$

Kde $\Delta P_b = U_{ss} \cdot I_b = 14 \cdot 1{,}79 = 25{,}1\ W$ (5.8)

Výpočet stejnosměrného proudu za usměrňovačem:

$$I_{ss} = \frac{P_{ss}}{U_{ss}} = \frac{460{,}1}{14} = 32{,}9\ A \tag{5.9}$$

Výpočet fázového proudu alternátoru:

$$I_f = 0{,}816 \cdot I_{ss} = 0{,}816 \cdot 32{,}9 = 26{,}9\ A \tag{5.10}$$

Výpočet střídavého výkonu alternátoru:

$$P_{stř} = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot 12{,}2 \cdot 26{,}9 = 568{,}4\ W \tag{5.11}$$

Výpočet účinnosti usměrnění:

$$\eta_{us} = \frac{P_{ss} \cdot 100}{P_{stř}} = \frac{460{,}1 \cdot 100}{568{,}4} = 81\ \% \tag{5.12}$$

Vrtání statoru $D_r = 89\ mm$

Výpočet pólové rozteče:

$$\tau_p = \frac{\pi \cdot D_r}{2p} = \frac{\pi \cdot 0{,}089}{12} = 0{,}0233\ m \tag{5.13}$$

Počet drážek na pól a fázi je q = 1, krok y = τp /q = τp, vinutí je jednovrstvé se stejnými cívkami.

Výpočet počtu drážek ve statoru:

$$Q = 2p \cdot q \cdot m = 12 \cdot 1 \cdot 3 = 36 \tag{5.14}$$

Kappův činitel:

$$\kappa = 2{,}22 \cdot K_q \cdot K_y = 2{,}22 \cdot 1 \cdot 1 = 2{,}22 \tag{5.15}$$

Činitel počtu drážek:

$$K_q = \frac{\sin(q \cdot \pi/p)}{q \cdot \sin(\pi/p)} = \frac{\sin(1 \cdot \pi/6)}{1 \cdot \sin(\pi/6)} = 1 \tag{5.16}$$

Činitel kroku:

$$K_y = \sin\left(\frac{1}{q} \cdot \frac{\pi}{2}\right) = \sin\left(\frac{1}{1} \cdot \frac{\pi}{2}\right) = 1 \tag{5.17}$$

Magnetický tok ve vzduchové mezeře (zadáno):

$\Phi_{\delta_0} = 0{,}1867 \cdot 10^{-3} Wb$

Výpočet frekvence:

$$f = \frac{p \cdot n}{60} = \frac{6 \cdot 2000}{60} = 200\ Hz \tag{5.18}$$

Výpočet počtu vodičů jedné fáze v sérii:

$$N_s = \frac{U_f}{\kappa \cdot f \cdot \Phi} = \frac{7}{2{,}22 \cdot 200 \cdot 0{,}1867 \cdot 10^{-3}} = 84{,}4 \cong 85 \tag{5.19}$$

Výpočet počtu vodičů v drážce:

$$N_d = \frac{a \cdot N_s}{2p \cdot q} = \frac{1 \cdot 85}{12 \cdot 1} = 7{,}08 \cong 7 \tag{5.20}$$

Výpočet proudového zatížení obvodu vnitřního průměru statoru:

$$A = \frac{m \cdot I_f \cdot N_s}{\pi \cdot D_r} = \frac{3 \cdot 26{,}9 \cdot 85}{\pi \cdot 0{,}089} = 24533{,}1\ A/m \tag{5.21}$$

Indukce ve vzduchové mezeře (zadáno):

$$B_\delta = 0{,}3\ T \tag{5.22}$$

Výpočet délky železa statoru:

$$L_s = \frac{\pi \cdot \Phi}{2 \cdot \tau_p \cdot B_\delta} = \frac{\pi \cdot 0{,}1867 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}0233 \cdot 0{,}3} = 0{,}042\ m \tag{5.23}$$

Průměr vodiče statoru (zadán) 3x Φ 1,18 mm, tj. 3x 1,09 mm^2

Výpočet proudové hustoty:

$$\sigma_s = \frac{I_f}{S_s} = \frac{26{,}9}{3 \cdot 1{,}09} = 8{,}2\ A/mm^2 \tag{5.24}$$

Výpočet odporu jedné fáze při teplotě 100°C:

$$R_s = \frac{(L_s + l_c) \cdot N_s}{43 \cdot a \cdot S_s} = \frac{(0{,}042 + 0{,}0466) \cdot 85}{43 \cdot 1 \cdot 3{,}27} = 0{,}05356\ \Omega \tag{5.25}$$

$$l_c = 2 \cdot \tau_p = 2 \cdot 0{,}0233 = 0{,}0466\ m \tag{5.26}$$

Výpočet ztrát ve vinutí statoru:

$$\Delta P_{cu} = m \cdot R_s \cdot I_f^2 = 3 \cdot 0{,}05356 \cdot 26{,}9^2 = 116{,}3\ W \tag{5.27}$$

Pro snížení ztrát ve vinutí statoru volím nový průměr vodiče:

3x Φ 1,32 mm, tj. 3x 1,368 mm^2

Pak platí že:

Výpočet proudové hustoty:

$$\sigma_s = \frac{I_f}{S_s} = \frac{26{,}9}{3 \cdot 1{,}368} = 6{,}6\ A/mm^2 \tag{5.28}$$

Výpočet odporu jedné fáze při teplotě 100°C:

$$R_s = \frac{(L_s + l_c) \cdot N_s}{43 \cdot a \cdot S_s} = \frac{(0{,}042 + 0{,}0466) \cdot 85}{43 \cdot 1 \cdot 4{,}104} = 0{,}0427\ \Omega \tag{5.29}$$

$$l_c = 2 \cdot \tau_p = 2 \cdot 0{,}0233 = 0{,}0466\ m \tag{5.30}$$

Výpočet ztrát ve vinutí statoru:

$$\Delta P_{cu} = m \cdot R_s \cdot I_f^2 = 3 \cdot 0{,}0427 \cdot 26{,}9^2 = 92{,}7\ W \tag{5.31}$$

Pro nově zvolený průřez se ztráty ve vinutí statoru snížily o 23,6 W, což je snížení o 20%, oproti původnímu průřezu vodiče.

Výpočet drážkové rozteče:

$$t_v = \frac{\tau_p}{m \cdot q} = \frac{0{,}0233}{3 \cdot 1} = 0{,}00777\ m = 7{,}77\ mm \tag{5.32}$$

Při šířce zubu 5 mm je indukce v zubu:

$$B_z = \frac{t_v \cdot B_\delta}{Z_u \cdot 0{,}95} = \frac{7{,}77 \cdot 0{,}3}{5 \cdot 0{,}95} = 0{,}491\ T \tag{5.33}$$

Výpočet indukce ve jhu statoru:

$$B_{js} = \frac{\Phi_{\delta_0}}{2 \cdot L_s \cdot 0{,}95 \cdot V_{js}} = \frac{0{,}1867 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0{,}042 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}007} = 0{,}334\ T \tag{5.34}$$

Vnější průměr statoru:

$D_e = 0{,}125\ m$

Indukce v pólu rotoru (zvolena):

$B_p = 0{,}63\ T$

Indukce v jádru rotoru (zvolena):

$B_{jr} = 0{,}52\ T$

Délka indukční čáry v zubu (zadáno):

$l_z = 0{,}0096\ m$

Délka indukční čáry ve jhu statoru:

$l_{js} = 0{,}032\ m$

Délka indukční čáry v pólech rotoru:

$l_p = 0{,}08\ m$

Délka indukční čáry v jádru rotoru:

$l_{jr} = 0{,}0233\ m$

Výpočet magnetického napětí pro vzduchovou mezeru:

$$U_\delta = 2 \cdot H_\delta \cdot K_c \cdot \delta = 2 \cdot \frac{B_\delta}{\mu_0} \cdot K_c \cdot \delta = 2 \cdot \frac{0{,}3}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \cdot 1{,}259 \cdot 0{,}00035 = 210{,}40\ A \quad (5.35)$$

Carterův činitel:

$$K_c = \frac{t_v}{t_v + \delta - 0{,}75 \cdot b_3} = \frac{7{,}77}{7{,}77 + 0{,}35 - 0{,}75 \cdot 2{,}6} = 1{,}259 \quad (5.36)$$

Názorný výpočet pro dynamoplechy 2,6 W/kg:

Výpočet magnetického napětí pro jho statoru:

Z B-H křivky plechu byla při $B_{js} = 0{,}334\ T$ odčtena $H_{js} = 43{,}1\ A/m$

$$U_{js} = l_{js} \cdot H_{js} = 0{,}032 \cdot 43{,}1 = 1{,}38\ A \quad (5.37)$$

Výpočet magnetického napětí pro zub statoru:

Z B-H křivky plechu byla při $B_z = 0{,}491\ T$ odčtena $H_z = 59{,}4\ A/m$

$$U_z = 2 \cdot l_z \cdot H_z = 2 \cdot 0{,}0096 \cdot 59{,}4 = 1{,}14\ A \quad (5.38)$$

Výpočet magnetického napětí v pólu rotoru:

Z B-H křivky plechu byla při $B_p = 0{,}63\ T$ odčtena $H_p = 71{,}9\ A/m$

$$U_p = 2 \cdot l_p \cdot H_p = 2 \cdot 0{,}08 \cdot 71{,}9 = 11{,}50\ A \tag{5.39}$$

Výpočet magnetického napětí v jádru rotoru:

Z B-H křivky plechu byla při $B_{jr} = 0{,}52\ T$ odčtena $H_{jr} = 61{,}8\ A/m$

$$U_{jr} = l_{jr} \cdot H_{jr} = 0{,}0233 \cdot 61{,}8 = 1{,}44\ A \tag{5.40}$$

Příklad výpočtu celkového magnetického napětí:

$$F_m = U_\delta + U_{js} + U_z + U_p + U_{jr} = 210{,}40 + 1{,}38 + 1{,}14 + 11{,}50 + 1{,}44 = 225{,}86\ A \tag{5.41}$$

Materiál	**Dynamoplechy**		**Ocel**	**Veličiny**
	2,6 W/kg	**1,3 W/kg**	**tř. 11**	
$\boldsymbol{B_\delta}$	0,3	0,3	0,3	$[T]$
$\boldsymbol{U_\delta}$	210,4	210,4	210,4	$[A]$
$\boldsymbol{B_z}$	0,491	0,491	0,491	$[T]$
$\boldsymbol{H_z}$	59,4	102,1	545,1	$[A/m]$
$\boldsymbol{U_z = 2 \cdot 0{,}0096 \cdot H_z}$	1,14	1,96	10,47	$[A]$
$\boldsymbol{B_{js}}$	0,334	0,334	0,334	$[T]$
$\boldsymbol{H_{js}}$	43,1	59,4	459,1	$[A/m]$
$\boldsymbol{U_{js} = 0{,}032 \cdot H_{js}}$	1,38	1,9	14,69	$[A]$
$\boldsymbol{B_p}$	0,63	0,63	0,63	$[T]$
$\boldsymbol{H_p}$	71,9	145,5	631,3	$[A/m]$
$\boldsymbol{U_p = 2 \cdot 0{,}08 \cdot H_p}$	11,5	23,28	101	$[A]$
$\boldsymbol{B_{jr}}$	0,52	0,52	0,52	$[T]$
$\boldsymbol{H_{jr}}$	61,8	110,6	563,1	$[A/m]$
$\boldsymbol{U_{jr} = 0{,}0233 \cdot H_{jr}}$	1,44	2,58	13,12	$[A]$
$\boldsymbol{F_m}$	225,86	240,12	349,68	$[A]$

Tabulka 5-1 Výpočet magnetického obvodu pro různé druhy plechů

6 ZÁVĚR

Výsledkem této bakalářské práce je rozbor nabíjecího systému v automobilu s hlavním zaměřením na automobilový alternátor, jeho funkci, konstrukci, typy provedení a způsoby využití v automobilovém průmyslu.

První kapitola je věnována rozboru nabíjecího systému a popisu jeho nejdůležitějších částí. Dále je zde vysvětlena funkce automobilového akumulátoru, spolu s popisem dnes nejvíce používaných akumulátorů, což jsou převážně akumulátory olověné.

Ve druhé kapitole je popsán princip automobilového alternátoru a jsou zde vyjmenovány jeho nejdůležitější prvky, ať už se jedná o mechanickou či elektrickou část alternátoru. Je zde také znázorněno zapojení alternátoru s vysvětlením jeho činnosti.

V kapitole číslo tři jsou popsány a rozebrány dnes používané druhy alternátorů. Pozornost je věnována hlavně drápkovým alternátorům, jelikož toto provedení je nejrozšířenější v automobilovém průmyslu a je součástí téměř každého automobilu. Pro porovnání s tímto alternátorem jsem zvolil poněkud odlišnou variantu, a tedy bezkroužkové konstrukce alternátoru. Jedná se speciální verzi využívanou pro vysoce namáhaná vozidla. Výsadou toho alternátoru je totiž velká spolehlivost a minimální nároky na údržbu.

Kapitola číslo čtyři této bakalářské práce je zaměřena na inovaci alternátorů, jelikož většina dnešních druhů nepřekračuje účinnost 50%. Jsou zde probrány ztráty, které ovlivňují účinnost alternátoru. Mezi možné způsoby řešení patří snížení ztrát v železe (za použití kvalitnějších materiálů) a zlepšení chlazení (ventilace).

V poslední páté kapitole byl proveden analytický výpočet trojfázového alternátoru s drápkovým rotorem 14/400W. Analytický výpočet zahrnuje výpočet ztrát ve vinutí statoru a výpočet magnetického napětí v alternátoru. V rámci inovace a snížení ztrát v alternátoru byl proveden také výpočet se zvětšeným průřezem vodičů vinutí statoru. Díky této úpravě by bylo možné snížit ztráty ve vinutí o 20 %, což je cca o 23,6 W. Tato inovace je ovšem možná pouze za předpokladu, že při zvětšení průměru vodiče bude zachován počet závitů v drážce. Při výpočtu magnetického napětí alternátoru bylo provedeno porovnání tří plechů s různou kvalitou materiálu. Nejvhodnějším materiálem pro použití by byly dynamoplechy 2,6 W/kg, pro které vyšla nejnižší hodnota magnetického napětí F_m= 225,86 A. Ovšem při použití těchto plechů při výrobě, dochází ke značnému opotřebení výrobních nástrojů a tím i ke zvýšení nákladů na výrobu samotného alternátoru.

LITERATURA

[1] Olověný akumulátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-* [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor

[2] How to Measure Stateof-Charge, *Battery University* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://batteryuniversity.com/learn/article/how_to_measure_state_of_charge

[3] Projekty SIPVZ. KOŘENEK, Jaroslav. Akumulátory s elektrodami tvaru desek [online]. 14. ledna 2007. 2007 [cit. 2016-04-25]. Dostupné z: http://projektysipvz.gytool.cz/ProjektySIPVZ/Default.aspx?uid=845

[4] Akumulátory, *Skoro vše o akumulátorech a nabíjení* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://www.motola.cz/UserFiles/Diskuzni_clanky/akumulatory.pdf

[5] *Regulace alternátorů* [online]. [cit. 2016-05-08]. Dostupné z: http://mira354.hostuju.cz/bordel/dnepr%20regul%C3%A1tory%20dob%C3%ADjen%C3%AD/regulace%20alternatoru.pdf

[6] Alternátor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-* [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Alternátor

[7] Princip funkce alternátoru. *Automonti s.r.o. - Pardubice* [online]. [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: www.automonti.cz/pdf/princip-funkce-alternatoru.pdf

[8] Dynamo a alternátor. *Automobilová elektrotechnika* [online]. 2012 [cit. 2015-11-15]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat430/data/ae/Dynamo a alternator.pdf

[9] Funkce a komponenty alternátoru, *ADS AUTOPROFIL MORAVA s.r.o.* [online]. [cit. 2015-11-20]. Dostupné z: http://www.autoprofil.cz/userdata/articles/7608/ads_6_2012.pdf

[10] ŠŤASTNÝ, Jiří a Branko REMEK. *Autoelektrika a autoelektronika*. 3. vyd. Praha: Nakladatelství T. Malina, 1997. ISBN 80-901975-4-X.

[11] JAN, Zdeněk, Brotislav ŽDÁNSKÝ a Jindřich KUBÁN. *Automobily V - Elektrotechnika motorových vozidel I*. 3. vyd.. Brno: Nakladatelství AVID, 2012. ISBN 978-80-87143-22-3.

[12] Alternátory. [online]. 2005 [cit. 2015-11-13]. Dostupné z: http://media0.nolimit.cz/files/media0:50fcda8b5e2a3.pdf.upl/Alternatory.pdf

[13] HÁJEK, Vítězslav a Čestmír ONDRŮŠEK. *Metody zvýšení účinnosti a optimalizace automobilových elektrických strojů*. Brno, 2000. Výukový materiál. VUT Brno.

[14] Obrázek alternátoru. *Bosch alternátoru esploso* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: http://it.bosch-automotive.com/it/parts_and_accessories/engine_systems_1/starters_alternators_1/spare_parts_for_alternators/spare_parts_for_alternators_1

[15] Diplomová práce, Martin VOLEK. *Inovace automobilového alternátoru* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84616

[16] T. Denton, Automobile Electrical and Electronics Systems" Butterworth-Heinemann, Third edition, 2004, ISBN 0 7506 62190

PŘÍLOHY

Příloha 1 B-H charakteristiky

B	Dynamoplechy		Ocel
	2,6 W/kg	1,3 W/kg	tř. 11
	H	H	H
[T]	[A/m]	[A/m]	[A/m]
0	0	0	0
0,1	15	25	300
0,2	25	30	380
0,3	40	50	440
0,4	50	70	500
0,5	60	105	560
0,6	70	130	600
0,7	80	180	680
0,8	110	220	710
0,9	150	280	780
1	205	340	850
1,1	280	440	910
1,2	410	600	1000
1,3	600	1000	1200
1,4	1000	2000	1400
1,5	1900	3000	2200