



TESPO engineering s.r.o.:

Ing. Radek Strnad
Ing. Pavol Šperka

Adresa: Roubalova 7a, 602 00 Brno
Tel: 5 4333 1296, 7
Fax: 5 4333 0287
e-mail: strnad@tespo-eng.cz
Web: www.tespo-eng.cz

Obsah:

1. Frekvenční měniče řady QUATROFREM - čtyřkvadrantové měniče frekvence s plně řízeným usměrňovačem s možností rekuperace elektrické energie zpět do sítě – praktické využití při aplikaci na zdvihu drapákového jeřábu
2. Frekvenční měniče nebo hydrodynamické regulační spojky - co je výhodnější pro regulaci otáček některých technologií, používaných v energetice
3. Použití hydrodynamických regulačních spojek pro regulaci otáček ventilátorových mlýnů, napájecích čerpadel

1. **Frekvenční měniče řady QUATROFREM - čtyřkvadrantové měniče frekvence s plně řízeným usměrňovačem s možností rekuperace elektrické energie zpět do sítě – praktické využití při aplikaci na zdvihu drapákového jeřábu**

1.1 *Technický popis čtyřkvadrantových měničů frekvence QUATROFREM*

QUATROFREM odstraňuje největší „nedostatek“ všech standardních měničů frekvence – **odběr vyšších harmonických proudů** z napájecí soustavy a zabezpečuje zároveň **možnost dodávky elektrické energie do sítě**. **QUATROFREM odebírá prakticky jen 1. harmonickou a tak s rezervou obstojí před** současnou normou **ČSN EN 61000-3-4**, ale i před připravovanou, podstatně přísnější, normou EN 61000-3-12.

QUATROFREM zajišťuje při generátorickém chodu motoru **rekuperaci** vzniklé energie do napájecí elektrické sítě. K nejvýhodnějšímu využití patří provoz, kde v průběhu činnosti pohonu dochází k poměrně častému a energeticky výraznému generátorickému chodu. Takovými aplikacemi jsou zdvihové pohony jeřábů, větrné elektrárny, generátory vodních elektráren, a pod.

Oproti standardnímu měniči, který energii, vzniklou při generátorickém chodu, mění na teplo v připojeném odporníku, se **QUATROFREM** chová nesrovnatelně ekonomičtěji.

V případech, kde je podstatný požadavek na minimální odběr vyšších harmonických je vhodné použít QUATROFREM i tam, kde nedochází k rekuperaci energie.

Obr. č. 1.1 QUATROFREM



QUATROFREM reguluje i $\cos \varphi$ a oproti některým konkurenčním čtyřkvadrantovým měničům frekvence má i další přednost - umožňuje uživateli v určitém omezeném rozsahu nastavovat žádanou hodnotu $\cos \varphi$ (0,95 – 1), a tím kompenzovat induktivní (kapacitní) povahu ostatních odběrů ze sítě.

1.2 Praktická aplikace: Regulace rychlosti zdvihu drapákového jeřábu

Na podzim roku 2010 jsme realizovali pro Spalovnu Praha – Malešice (největší spalovna komunálního odpadu v ČR) technicky zajímavou akci **„Rekonstrukce pohonů a některých dalších dílů kočky drapákového jeřábu“**. Kdo zná provoz spalovny komunálních odpadů, ten ví, že drapákové jeřáby jsou srdcem spalovny. Jsou v provozu 24 hodin denně a především na ranní a části odpolední směny, kdy probíhají svozy odpadků z Prahy a blízkého okolí, jsou v neustálém pohybu.

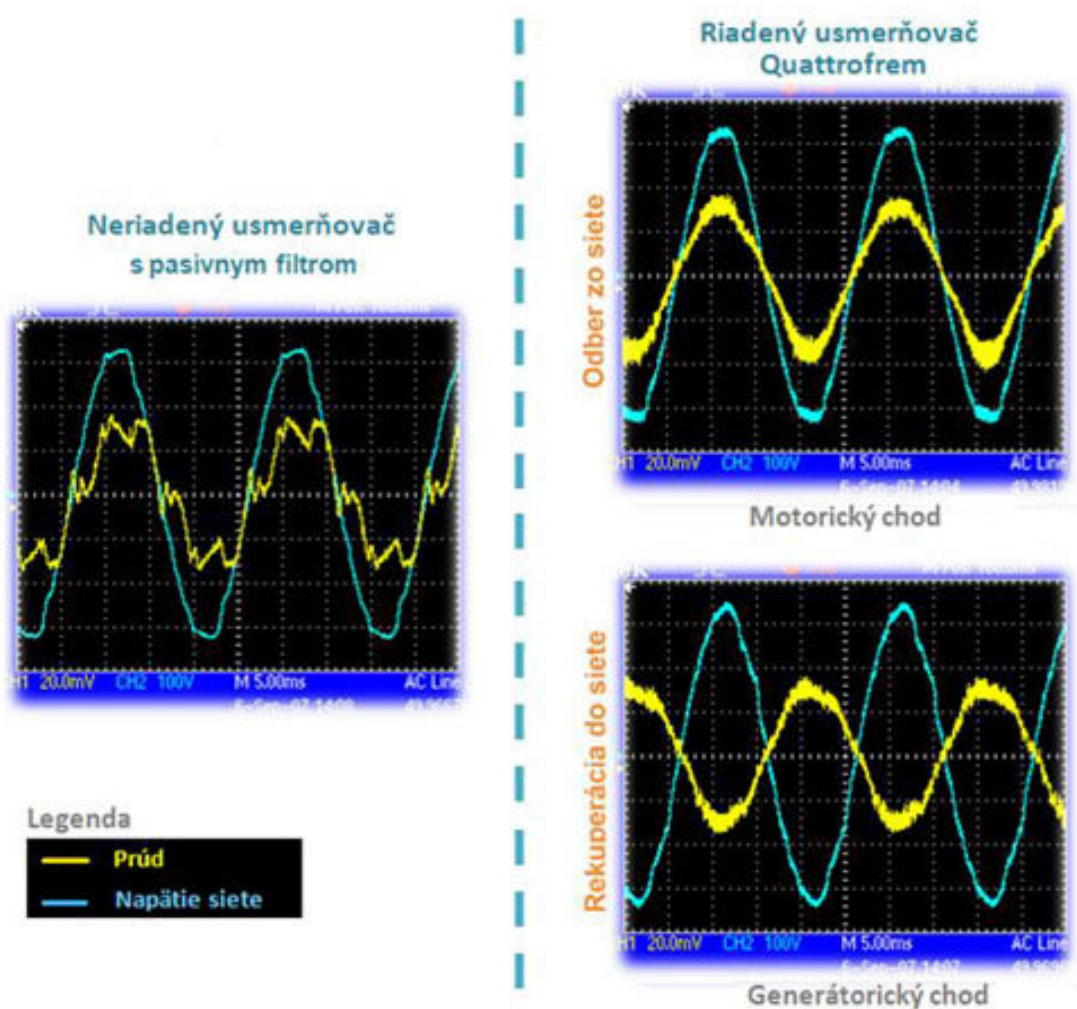
Naše firma TESPO engineering s.r.o. na podzim 2010 provedla rekonstrukci kočky jednoho z dvojice drapákových jeřábů. Součástí díla byly následující dodávky a práce:

- dodávka a montáž nového pohonu zdvihu drapáku 75kW
- dodávka a montáž nového pohonu pojezdu jeřábové kočky
- oprava pojezdových kol, výměna ložisek
- repase lanového bubnu drapáku, dodávka a montáž nových bubnových spojek
- drobné opravy konstrukce kočky
- instalace nového čtyřkvadrantového měniče frekvence QUATROFREM 400, výkon 110kW, krytí IP55, s možností rekuperace elektrické energie do napájecí sítě při spouštění drapáku

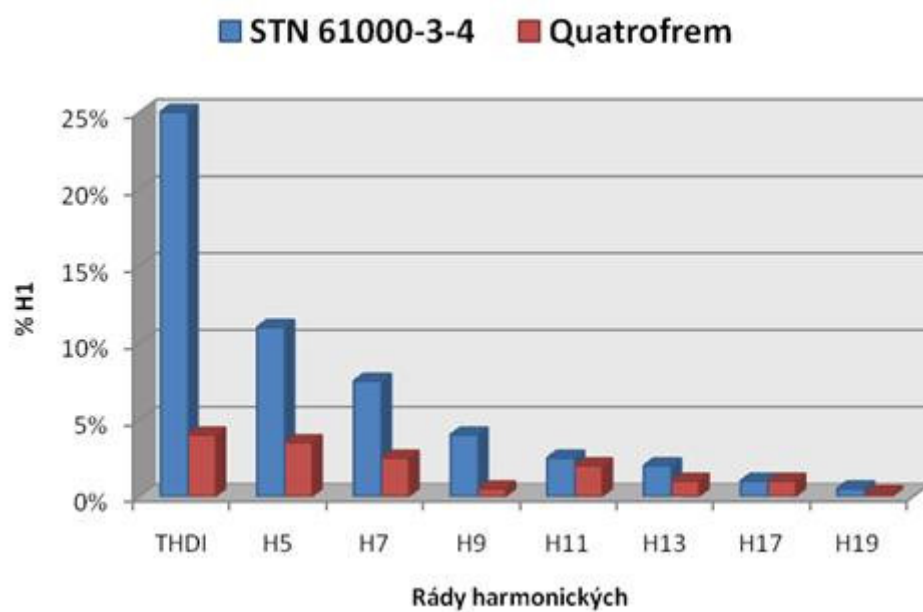
Všetchny pohony drapákového jeřábu jsou vybaveny regulací rychlosti prostřednictvím měničů frekvence (pojezd mostu, pojezd kočky). Tyto měniče jsou napájeny z DC meziobvodu hlavního zdvihového měniče QUATROFREM 400 110. Nejsou tedy vůbec napojeny na napájecí síť. Měnič QUATROFREM při spouštění drapáku dodává do sítě až 35kW elektrické energie. Část této energie spotřebovávají okamžitě pohony pojezdů jeřábu, pokud jsou v provozu, zbytek dodává QUATROFREM do napájecí sítě ve vysoké kvalitě (porovnání průběhů napětí a proudů s klasickým měničem frekvence naleznete na obrázku č. 1.2).

Pořizovací cena je samozřejmě o poznání vyšší než u klasických měničů frekvence. V provozech, kde najdou tyto přístroje praktické využití, je ale návratnost velmi rychlá, jako na pražské spalovně komunálních odpadů.

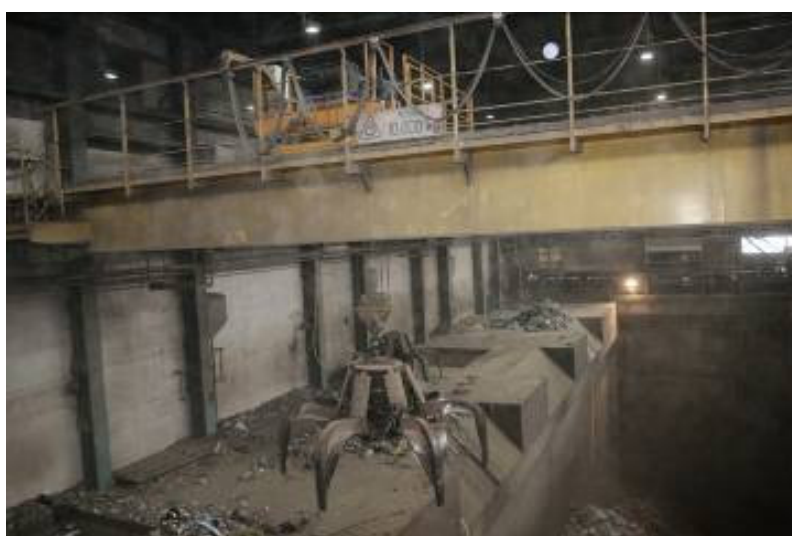
Obr. č 1.2 průběhy napětí běžný měnič - QUATROFREM



Obr. č. 1.3 THD proudu (měřené na motoru o výkonu 18,5 kW při plném zatížení)



Obr. č. 1. 4, 1.5.: Pohled na jeřáb a měnič frekvence QUATROFREM 400 110 IP55



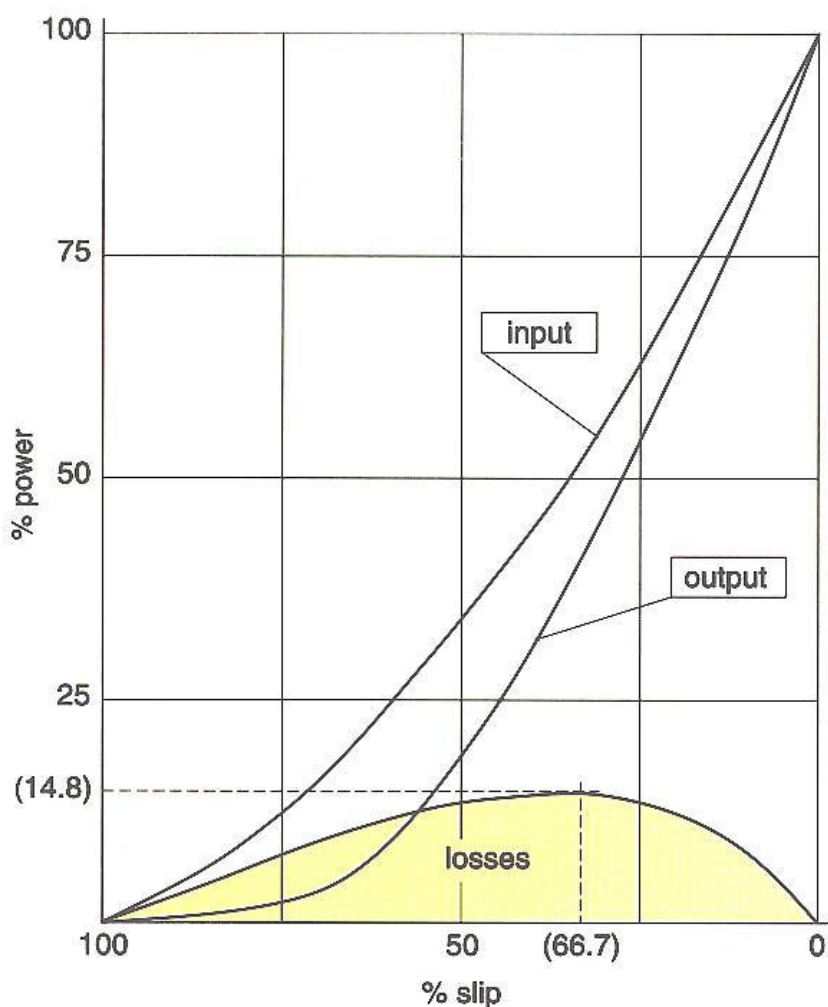
2. Frekvenční měniče nebo hydraulické regulační spojky - co je výhodnější pro regulaci otáček některých technologií, používaných v energetice

V současné době probíhají na některých elektrárnách firmy ČEZ a.s. (Elektrárny Tušimice II, Elektrárna Pruněrov II, Elektrárna Ledvice), a nejenom tady, retrofity stávajících energetických zdrojů a výstavby zdrojů nových. Především u pohonů větších výkonů (napájecí čerpadla, oběhová čerpadla, čerpadla kondenzátní vody, ventilátorové mlýny a další), kde dnes běžně dochází k regulaci otáček, a tedy množství přepravovaných médií, opět vyvstává otázka, jaký regulační systém použít s ohledem na investiční náklady, účinnosti v předpokládaném regulačním pásmu a vhodnosti pro danou technologii.

Z tohoto důvodu bych rád v této kapitole „oprášil“ a mírně aktualizoval část naší přednášky z roku 2005, kde se budu stručně zabývat stanovením ekonomiky provozu vzorového oběhového čerpadla v naprosto reálné provozní situaci. Jedná se o porovnání účinnosti oběhového čerpadla v jednotlivých provozních stavech při regulaci otáček prostřednictvím měniče frekvence a prostřednictvím hydrodynamické regulační spojky.

2.1 Stanovení účinnosti hydrodynamické regulační spojky (dále jen HDS) :

Obr. 2.1: Účinnostní charakteristika :



Ztráty HDS (kW) pro pohon zařízení z kvadratickým charakterem zátěže (odstředivá čerpadla, ventilátory) jsou dány vztahem :

$$\text{Ztráty} = K (n_1 - n_2) n_2^2 \quad (\%) \quad (1)$$

Kde $K = \text{maximální vstupní výkon} / n_1^3 \quad (\%) \quad (2)$

n_1 = vstupní otáčky

n_2 = výstupní otáčky

Jak je patrné z výše uvedené charakteristiky, největší ztráty (aplikace pro regulaci otáček odstředivých čerpadel a ventilátorů) HDS dosahuje v 66,7 % otáček (14,8 % vztaženo ke 100% výkonu). V níže uvedené tabulce jsou uvedeny ztráty HDS od jmenovitých až k nulovým otáčkám po kroku 5% otáček :

Tabulka 2.1: účinnost hydrospojky při různých otáčkách

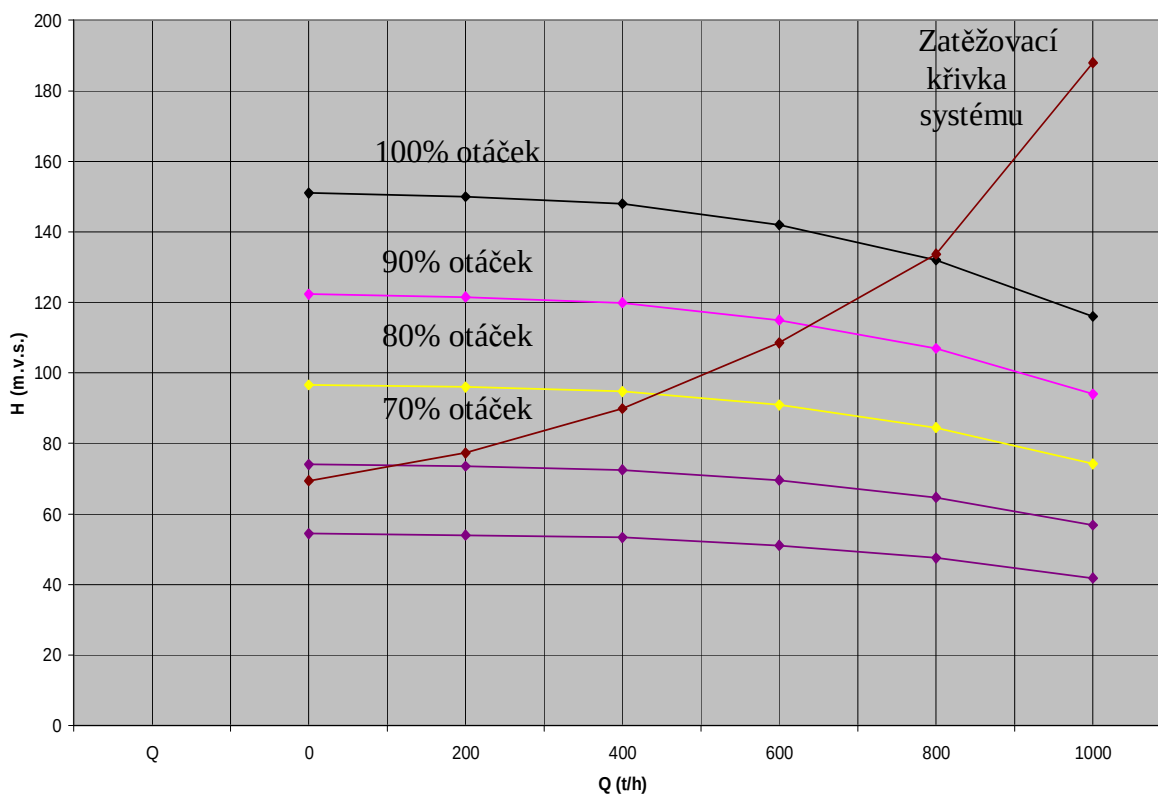
Otáčky (%)	100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50
Ztráty (%)	0,0	4,6	8,1	10,8	12,8	14,1	14,7	14,8	14,4	13,6	12,5
Otáčky (%)	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	
Ztráty (%)	11,1	9,6	8,0	6,3	4,7	3,2	1,9	0,9	0,2	0,0	

Pro další výpočty budeme uvažovat oběhové čerpadlo se jmenovitým průtokem $Q=800\text{t/h}$ vody, $H=130\text{m.v.s.}$, účinnost 81%. Absorbovaný výkon, vypočtený podle vztahu :

$$P = Q H / \text{účinnost} \quad (\text{kW}) \quad (3)$$

Z výše uvedených údajů vychází absorbovaný výkon čerpadlem 360kW

Obr. 2.2: Q/H charakteristika čerpadla při různých otáčkách s vyznačením možné zatěžovací křivky



V následujícím textu se pokusíme stanovit celkové ztráty pohonu uvedeného oběhového čerpadla s regulací pomocí měniče frekvence a pomocí hydrodynamické regulační spojky v důležitých provozních bodech.

Dále se pokusíme stanovit celkové ztráty za rok při provozu oběhového čerpadla v jednotlivých ročních obdobích. Účinnost čerpadla jako takového je stejná, ať už bude použita otáčková regulace pomocí měniče frekvence nebo regulační hydrospojky.

Pro výše uvedený absorbovaný výkon čerpadla při jmenovitých parametrech 360kW, čemuž odpovídá instalovaný výkon elektromotoru 400kW, bývá obvykle u pohonů bez měničů frekvence motor napájen ze sítě 6kV. Pro korektnost tedy budeme uvažovat stejnou napájecí síť i v případě použití měničů frekvence.

V případě regulace otáček uvedeného čerpadla pomocí HDS je nutné kalkulovat s účinností následujících komponent :

- elektromotor
- hydrodynamická regulační spojka

celková účinnost = účinnost elektromotoru x účinnost hydrospojky (%)
(vztaženo ke 100 % výkonu)

kde

- účinnost elektromotoru je cca 95% pro výkon 50 – 100%
cca 91% pro výkon 25 – 50%
- účinnost hydrospojky (viz výše uvedená tabulka)

V případě regulace otáček uvedeného čerpadla prostřednictvím měniče frekvence je nutné kalkulovat s účinností následujících komponent :

- transformátor 6kV/0,4kV, výkon 500kVA
- měnič frekvence
- elektromotor
- přídatné ztráty elektromotoru vlivem nesinusového napájení z měniče frekvence

celková účinnost = účinnost transformátoru x účinnost měniče frekvence
x účinnost elektromotoru x přídatné ztráty motoru
(vztaženo k výkonu pro daný pracovní bod)

kde

- účinnost transformátoru cca 98%
- účinnost měniče frekvence 97,5%
- účinnost elektromotoru 95%
- přídatné ztráty elektromotoru 3%

Tabulka 2.2: absorbované výkony čerpadlem, spotřeby el. energie při provozu s FM a HDS

Q průtok oběhové vody	H výtlčná výška čerpádl	otáčky čerpádl	absorb. výkon čerpádl	počet provozních hodin	příkon pohonu s FM	příkon pohonu s HYDROSP.	roční spotřeba s FM	roční spotřeba s HYDROSP.
(t/hod)	(m.v.s.)	(ot/min)	(kW)	(hod)	(kW)	(kW)	(kWh)	(kWh)
200	79	1050 (71%)	58,5	450	72,2	117,2	32510	52743
250	81	1085 (73,3%)	75,0	620	92,6	133,1	57407	82533
300	84	1110 (75%)	93,3	640	115,2	153,3	73745	98089
350	88	1150 (77,7%)	114,1	625	140,8	171,4	88020	107098
400	91	1160 (78,4%)	134,8	510	166,4	194,1	84883	99016
450	96	1184 (80%)	155,8	750	181,2	210,0	135911	157535
500	100	1230 (83%)	180,4	880	209,7	228,9	184570	201404
550	104	1250 (84,5)	206,3	820	239,9	256,2	196752	210092
600	109	1290 (87%)	230,0	715	267,4	271,1	191186	193809
650	117	1330 (90%)	267,4	580	310,9	310,5	180343	180078
700	120	1360 (92%)	288,1	490	335,0	319,7	164131	156666
750	124	1420 (96%)	318,9	440	370,8	352,2	163174	154975
800	130	1480 (100%)	356,7	380	414,7	382,6	157591	145397
						SOUČET	1710222	1839434

Tabulka č. 2.2. monitoruje provoz oběhového čerpadla v jednotlivých ročních obdobích (viz průtok, odpovídající dopravní výška, počet provozních hodin atd). Podle výše uvedených vztahů je zde spočítána roční spotřeba elektrické energie při regulaci otáček čerpadla pomocí měniče frekvence a pomocí hydroregulační spojky (jedná se o pohon $P=400\text{kW}$). Je zde vidět, že pohon s měničem frekvence je energeticky úspornější. **Oproti hydrospoje za rok ušetří 129 212kWh.**

Pořizovací cena pohonu s měničem frekvence (transformátor 6/0,4kV, 500kVA, měnič frekvence 400kW, nutná elektrovýzbroj) je 1.320.000,- Kč.

Pořizovací cena hydroregulační spojky, vč. chladiče pracovního média, je 1.200.000,-Kč.

Rozdíl v ceně pořízení pohonu je cca 120.000,- Kč ve prospěch pohonu s hydraulickou spojkou. Pohon s měničem frekvence je však energeticky úspornější. Ročně uspoří 129 212 kWh což představuje, v případě ceny elektrické energie cca 1,30Kč/1kWh, finanční úsporu 167.975,-Kč. Návratnost investice do pohonu s měničem frekvence je tedy přibližně 9 měsíců.

Čím větší bude instalovaný výkon, tím větší bude rozdíl pořizovací ceny mezi pohonem s měničem frekvence a pohonem s hydrodynamickou regulační spojkou – ve prospěch hydrospoje. Tedy i návratnost eventuelní investice do pohonu s měničem frekvence bude o dost delší.

Z tabulky 2.2 ale vyplývá ještě jedna, velmi zajímavá a důležitá informace: Pohon s HDS sestává s menšího počtu komponent, které navíc při odborném návrhu pohonu pracují ve svém optimu. **V oblastech otáček, kde účinnost HDS ještě zásadním způsobem neklesá, dosahuje tento pohon vyšší účinnosti než pohon s frekvenčním měničem.** Účinnosti pohonů s HDS a měničem frekvence se přibližně srovnávají okolo 90% otáček. Obecně lze tedy doporučit, že pro technologie s potřebným rozsahem regulace cca 85-100% je investičně i energeticky výhodné použít pohon s hydrodynamickou regulační spojkou (napájecí čerpadla, ventilátorové mlýny

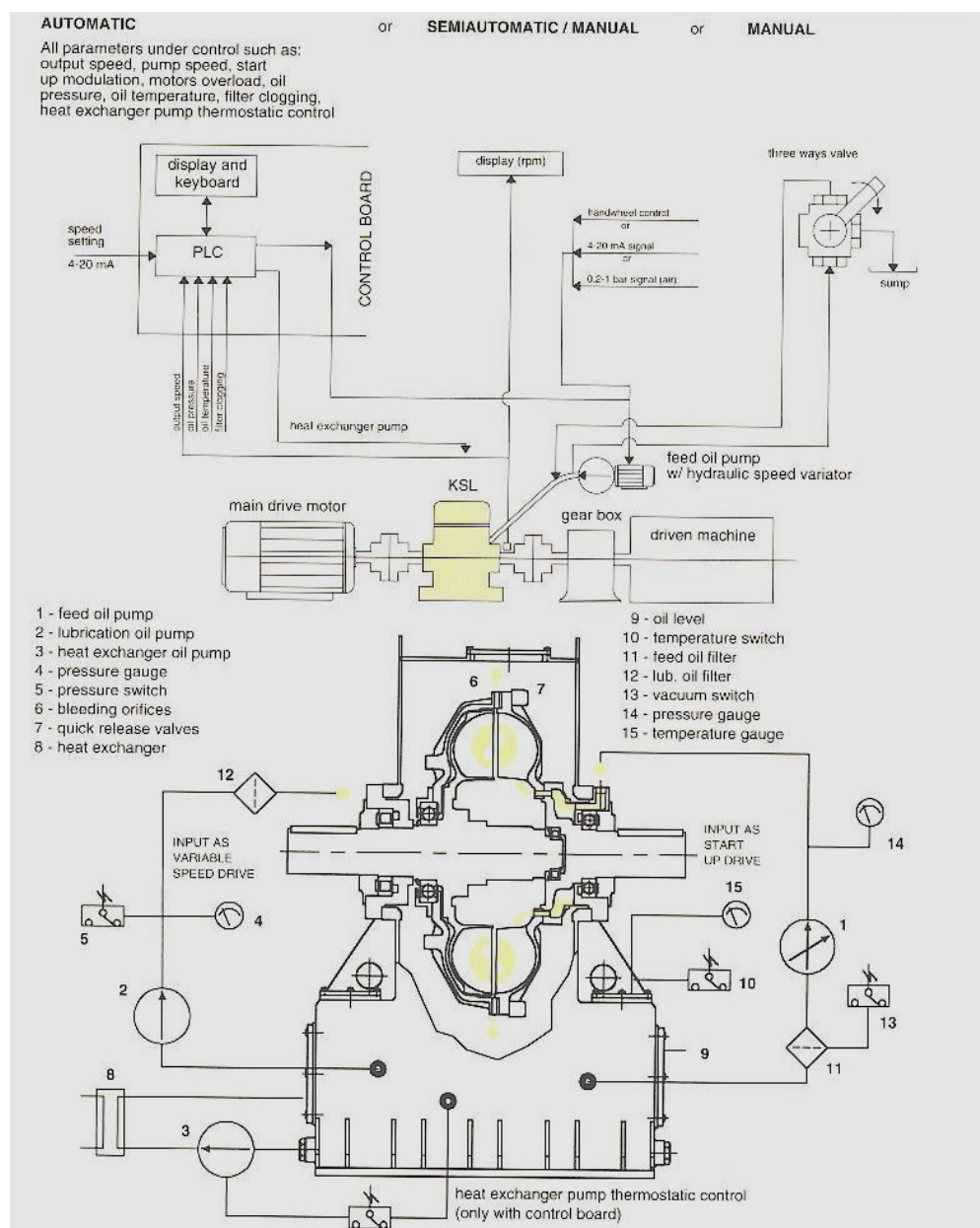
a podobná další zařízení). Naopak u oběhových čerpadel, která se otáčkově regulují v rozsahu 40-100% s tím, že většinu času pracují na 80% a méně otáček, je jednoznačně výhodnější použití měniče frekvence.

4. Použití hydrodynamických regulačních spojek pro regulaci otáček ventilátorových mlýnů a napájecích čerpadel

4.1 Regulace otáček ventilátorových mlýnů:

V letošním roce podepsala firma TRANSFLUID, kterou na území ČR zastupujeme (výrobce hydraulických rozběhových a regulačních spojek), velmi zajímavý kontrakt s firmou VÍTKOVICE GEARWORKS a.s. na dodávku 24 kusů hydrodynamických regulačních spojek pro regulaci otáček ventilátorových mlýnů uhlí. Celá dodávka proběhne v roce 2011 na podzim v rámci akce „Retrofit ČEZ a.s, Elektrárny Pruněrov II“. Montáž na pozici, uvádění do provozu a funkční zkoušky proběhnou v letech 2012 a 2013.

Obr. č. 4.1: Obecné funkční schema hydrodynamické regulační spojky TRANSFLUID



Protože se tato aplikace teprve připravuje, nemůžeme v tomto okamžiku sdělit naše praktické zkušenosti. Proto zde uvedeme je několik informací o tom, jak hydrodynamická spojka funguje a některá zajímavá technická data ohledně aplikace „Regulace otáček ventilátorových mlýnů na ČEZ a.s. Elektrárna Pruněrov II“.

Základní části hydrodynamické regulační spojky (dále jen HDS) jsou:

- primární kolo, které je pevně spojeno se vstupní hřídelí HDS a tato hřídel je spojena pružnou mechanickou spojkou s hřídelí elektromotoru.
- plášť HDS, který je pevně spojen s hnaným kolem a spolu tak vytváří pracovní prostor
- sekundární (hnané) kolo, které je spojeno s výstupní hřídelí HDS a tato hřídel je pomocí pružné mechanické spojky spojena s hřídelí poháněného zařízení..

Tato rotační část HDS je vstupní a výstupní hřídelí uložena v ložiscích uzavřené skříňe, která tvoří jak nosný rám rotující části spojky, tak i bezpečnostní obal pro zachycování oleje. Spodní část skříňe je konstrukčně řešena jako provozní olejová nádrž se základovým rámem HDS.

Příslušenství HDS pro zajištění regulace a provozu

Pro provoz a možnost regulace otáček je zapotřebí u všech HS zajistit následující:

- regulovanou dodávku požadovaného množství oleje do pracovního prostoru HDS - je zajištěna dávkovací olejovou větví, ve které je olej z provozní nádrže přes filtr regulovaným dávkovacím čerpadlem dopravován do pracovního prostoru HDS
- mazání ložisek HDS - je zajištěno mazací olejovou větví, ve které je olej neregulovaným čerpadlem z provozní nádrže dopravován přes filtr do požadovaných mazacích míst
- chlazení oleje - je zajištěno chladicí olejovou větví, ve které je olej opět neregulovaným čerpadlem z provozní nádrže dopravován přes výměník tepla (chladič) zpět do této nádrže.

Nedílnou součástí každé HDS je vybavení měřícími přístroji, jako jsou například tlakoměry, spínače tlaku a podtlaku, teploměry, teplotní spínače, olejoznaky, ventily a pod. Dále může být součástí HDS řídící elektronika, která udržuje konstantní požadované otáčky HDS na výstupní hřídeli.

Aplikace pro regulaci otáček ventilátorového mlýna ne Elektrárně Pruněrov II:

Jako pohon je zde použit elektromotor SIMENS, výkon $P=750\text{kW}$, otáčky $n=1500\text{ ot/min}$. Mezi elektromotor a poháněné kolo ventilátorového mlýna (vybaveno speciální čelní převodovkou) bude vložena regulační HDS typ 29 KSL, regulační rozsah 76 – 100%. Výhodou těchto HDS je, že primární kolo, které je spojeno pružnou mechanickou spojkou s hřídelí elektromotoru, má menší průměr a tedy i menší hmotnost a díky tomu i menší moment setrvačnosti než kolo sekundární (hnané). Při startu pohonu se vždy rozbíhá elektromotor ve stavu „na prázdko“ a má tendenci co nejrychleji naběhnout na své jmenovité otáčky. Toto klade značné nároky na mechanickou spojkou mezi hřídelí elektromotoru a primárním kolem HDS. Čím je menší moment setrvačnosti primárního kola HDS, tím méně je tato mechanická spojka namáhána a má delší životnost.

Jak již bylo uvedeno výše, uváděná HDS je vybavena třemi olejovými okruhy:

- mazací olejový okruh: výkon elektromotoru mazacího čerpadla $P=1,5\text{kW}$
- okruh chladiče oleje HDS: výkon elektromotoru olejového čerpadla chladiče oleje $P=4\text{kW}$
- pracovní olejový okruh: přesné dávkování oleje do pracovního prostoru hydrospojky, výkon elektromotoru pracovního olejového čerpadla $P=4\text{kW}$, regulace množství dodávaného oleje měničem frekvence

HDS je samozřejmě vybavena olejovými filtry se snímáním diferenčního tlaku (hlídání funkčnosti olejových filtrů).

Zajímavou, pro projektanty a budoucí provozovatele zřejmě podstatnou informací, je dynamika HDS při změně otáček. Z vypočtených momentů setrvačnosti všech komponentů stroje je spojka navržena takto:

- čas rozběhu z 0 – 100% otáček je přibližně 4 minuty 13 sec.
- čas zvýšení otáček o 100 ot/min (rekce na jednotkový skok o 100ot/min směrem „nahoru“) je 60 sec, při vhodné úpravě řídicího signálu se dá dosáhnout času až 30 sec.
- čas snížení otáček o 100ot/min (rekce na jednotkový skok o 100ot/min směrem „dolů“) je 60 sec, při vhodné úpravě řídicího signálu se dá dosáhnout času až 30 sec.
- čas potřebný ke kompletnímu vyčerpání oleje z pracovní oblasti HDS je cca 53 sec. Nutno brát na zřetel, že v tomto případě se sekundární kolo HDS stále otáčí, protože je „vlečeno“ pohybem poháněného stroje. Čas, kdy se HDS a tím i celý stroj uvede kompletně do klidu, závisí od parametrů (momentu setrvačnosti) a momentálních pracovních podmínek poháněného stroje

4.1 Regulace otáček napájecích čerpadel:

Další aplikací, kde se s výhodou používají pro regulaci otáček poháněného stroje hydrodynamické regulační spojky, jsou v elektrárenských a teplárenských provozech napájecí čerpadla. Rozsah regulace bývá obvykle opět někde mezi 80-100% otáček. Pro dosažení vysokých tlaků a průtoků dopravovaného média (horké vody) bývají obvykle napájecí čerpadla postavena na otáčky 2 900 ot/min a bývají poháněna 2-pólovými asynchronními elektromotory o výkonu cca 500- 4 500 kW, podle velikosti (výkonu) daného kotle. TRANSFLUID vyráběl donedávna HDS o výkonu 2 200 kW a maximálními otáčkami 1 500 ot/min (4-pólový elektromotor) – na některé poptávky jsme tedy nebyli schopni reagovat. V naší nabídce máme od letošního roku HDS, která umí přenést výkon 3 500 kW. Problém otáček konstruktéři vyřešili tak, že na výstup HDS implantovali jednostupňovou převodovku „do rychla“ s převodem $i=2$ (je možné i jiné převodové číslo).

V současné době tedy umíme pro napájecí čerpadla nabídnout regulační HDS s parametry na hřídeli napájecího čerpadla: výkon $P = 3\,500\text{ kW}$, otáčky $n = 2\,900\text{ ot/min}$ a více.

Na další, poslední straně našeho příspěvku naleznete orientační výkres regulační HDS s převodovkou „do rychla“ na výstupní straně.

Za pozornost děkuje

Ing. Radek Strnad
TESPO engineering s.r.o.

Obr. 4.2: výkres regulační HDS s převodovkou „do rychla“ na výstupní straně

