

Изследване на режимите на работа за хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения при различни натоварвания на хидромоторите

Илчо Ангелов, Петко Кьоргогов

Investigation of operating models of hydrostatic transmission for wind turbine at various loads of motors: Benefits of hydrostatic transmissions (HST) in modern machines and equipment are indisputable. A possible replacement of gearboxes with HST will improve the performance of wind facilities, increasing the operating range, reducing operating costs and initial investments. Yet the main question concerning the efficiency of HST remains. This article discusses the various modes of exemplary hydrostatic transmission for wind facilities and detailed definition of all the efficiencies of the machines (pumps and hydraulic motors) at various loads.

Key words: Hydrostatic Transmission, Wind Turbine, Wind Electro Generators, Power coefficient.

ВЪВЕДЕНИЕ

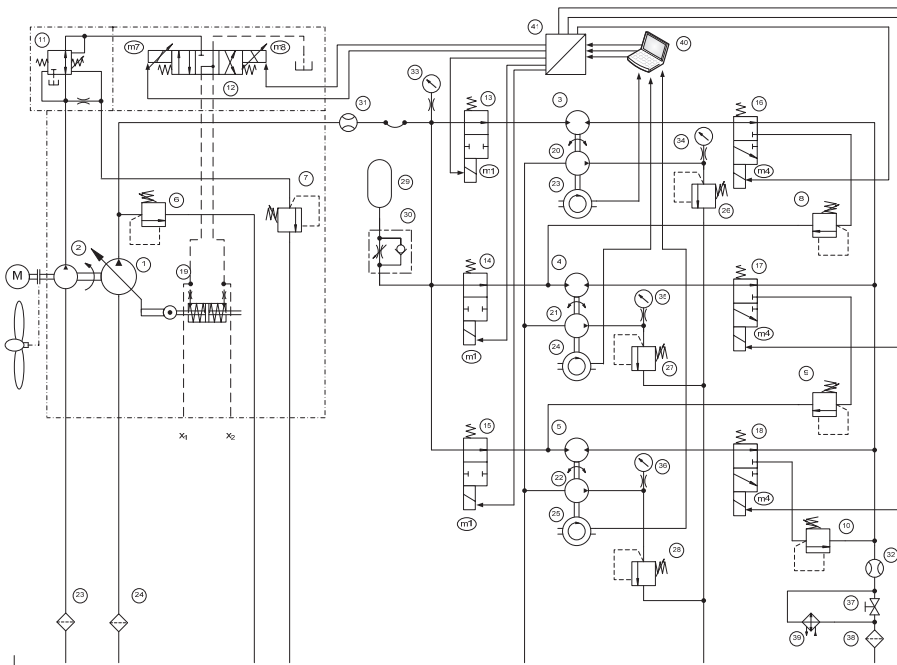
Предимствата на хидростатичните трансмисии в съвременните машини и съоръжения са безспорни. Едно евентуално заместване на мултипликаторите с ХСТ ще доведе до подобряване на работата на ветрогенераторните съоръжения, увеличаване на работния диапазон, намаляване на експлоатационните разходи и първоначалните вложения. Но все пак основния въпрос касаещ коефициента на полезно действие на ХСТ остава. В настоящата статия се разглеждат различните режими на работа на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения и е описано определянето на всички коефициенти на полезно действие на съответните хидравлични машини (помпи и хидромотори) при различните режими на натоварване.

ИЗЛОЖЕНИЕ

В съвременните ветрогенераторни съоръжения мултипликаторите служат за предаването на въртящия момент от витлото към електрогенератора. Честото дефектиране, големите експлоатационни разходи на мултипликаторите и тенденцията да се увеличават мощността (респективно размерите на ветрогенераторните съоръжения) са предпоставки за търсене на алтернатива. Хидростатичните трансмисии са едно адекватно решение на тази проблематика. Те имат редица предимства, които могат да подобрят и оптимизират работата на тези високотехнологични съоръжения:

- голяма твърдост на предаваната енергия дава възможност за подържане на постоянни изходящи обороти на хидромоторите независимо от натоварването, което е предпоставка за оптимална работа на електрогенераторите и отпадане на допълнителните устройства, като честотни регулатори и трансформатори;
- предаването на големи мощности и сили при много по-малки размери и маси на хидравличните машини (спрямо мултипликаторите) ще намалят първоначалните вложения по изграждане и уякчаване на ветрогенераторната кула;
- възможността за управление на потока на енергия предразполага да се осъществява автоматично управление на системата;
- независимо действие от пространственото разположение на хидравличните машини дава възможността мотор-генераторната група да бъде наземна, което ще улесни експлоатацията на тези съоръжения. Това е целесъобразно само при малките ветрогенератори (до 100 kW), където енергийните загуби ще са относително малки;
- ХСТ има възможност да работи в спирачен режим и по този начин да се предава системата от повреди и разрушаване в случаите на мощни пориви на вятъра;
- използването на хидравлични акумулатори дава възможност да се акумулира част от енергията на вятъра в хидравлична такава, и съответно да се отдава при необходимост, най-вече при работа на ХСТ в режими на работа, при които се налага превключване на хидродвигателите така, че те да работят самостоятелно или комбинация при относително постоянни обороти.

На Фиг.1 е показана схема на хидравличен стенд за опитно изследване на ХСТ предназначена за ветрогенераторни съоръжения[1,2,3,4]. Основната част от ХСТ се състои от една регулируема бутална помпа 1, три нерегулируеми аксиално-бутални хидродвигатели 3, 4 и 5. Чрез управляващ и регулиращ блок включващ ел. разпределители 13, 14, 15, 16, 17, 18 и предпазно-преливните клапани (ППК) 8, 9, 10 и измервателна апаратура имаме възможност да превключваме хидромоторите и те да работят самостоятелно или в комбинация. Промяната на външното натоварване на хидромоторите се осъществява чрез зъбните помпи 20, 21, 22 и с промяна на налягането на подпорните клапани 26, 27, 28 . С така избраната от нас концепция сме в състояние експериментално да изследваме всички установени и преходни процеси в целия работен диапазон на хидростатичната трансмисия.



Фиг.1 Хидравлична схема на експериментален стенд за изпитване на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни устройства[4].

Тези предимства са основателна причина да се направи едно по-задълбочено изследване на една хидростатична трансмисия със степенно регулиране предназначена за да покрие изискванията на ветрогенераторните съоръжения. Хидромоторите са подбрани, така че работните им диапазони да се препокриват и да се получава линейна характеристика при тяхната съвместна работа [1,2,3,4].

Основна цел на настоящата работа е да се изследват режимите на работа на хидромоторите при различни натоварвания и да се определят експериментално реалните коефициенти на полезно действие. Това е възможно само с реални изпитвания и снемане на пълните силови характеристики на ХСТ. В настоящата работа се разглежда определянето на коефициентите на полезно действие на помпата и хидромотори на базата на техните експериментални характеристики.

При хидравличните машини се разграничават три основни коефициента на полезно действие: обемен, хидромеханичен и пълен коефициент на полезно действие. Обемния коефициент на полезно действие изразява разликата между действителния и теоретичния дебит на съответната хидравлична машина. Той зависи от голе-

мината на хлабините между триещите се елементи, от честотата на въртене и пада на налягане между входа и изхода на съответната хидравлична машина.

$$\eta_{V, XM} = \frac{q_{XM,t}}{q_{XM}} = \frac{V_{XM} n_{XM}}{1000 q_{XM}} \quad (1)$$

$$\eta_{V, \Pi} = \frac{q_{\Pi}}{q_{\Pi,t}} = \frac{1000 q_{\Pi}}{V_{\Pi} n_{\Pi}} \quad (2)$$

където:

$\eta_{V, XM}, \eta_{V, \Pi}$ - обемен коефициент на полезно действие, съответно на помпа и хидромотор;

V_{XM}, V_{Π} - работен обем, cm^3 ;

q_{XM}, q_{Π} - дебит на съответната хидравлична машина, l/min ;

n_{XM}, n_{Π} - обороти, min^{-1} .

Хидромеханичният к.п.д. изразява загубите от триене между отделните елементи и хидравличните загуби. Той зависи от големината на хидравличната машина, честотата на въртене, пада на налягане и вискозитета на работната течност.

$$\eta_{hm} = f(n, \Delta p, \nu) \quad (3)$$

където:

η_{hm} - хидромеханичен коефициент на полезно действие;

Δp - пад на налягане в съответната хидравлична машина, bar ;

ν - вискозитет на работната течност, cSt .

Пълният коефициент на полезно действие на съответните хидравлични машини в ХСТ се определят по следните зависимости:

$$\eta_{XM} = \eta_V \eta_{hm} = \frac{2\pi M_{XM} n_{XM}}{\Delta p q_{XM}} \quad (4)$$

$$\eta_{\Pi} = \eta_V \eta_{hm} = \frac{\Delta p q_{\Pi}}{2\pi M_{\Pi} n_{\Pi}} \quad (5)$$

където:

η_{XM} - пълнен коефициент на полезно действие на хидромотор;

η_{Π} - пълнен коефициент на полезно действие на хидравлична помпа;

M_{XM}, M_{Π} - въртящ момент на съответната хидравлична машина, Nm .

Пълният коефициент на полезно действие на хидростатичната трансмисия може да се определи теоретично по следната зависимост [5,6,7]:

$$\eta_{ХСТ} = \frac{P_{Bx}}{P_{Иxx}} = \frac{A \rho_{\text{въздух}} v^3}{2M_{XM} n_{XM}} \quad (6)$$

където:

$\eta_{ХСТ}$ - пълнен к.п.д. на хидростатична трансмисия;

P_{Bx} - мощност от ротора на ветрогенератора;

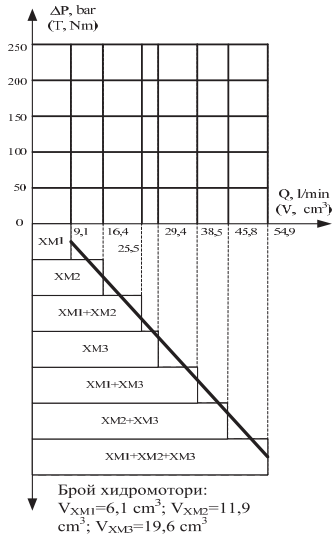
$P_{Иxx}$ - мощност отдавана от ХСТ към електрогенератора;

A - площ на диска на ротора, m^2 ;

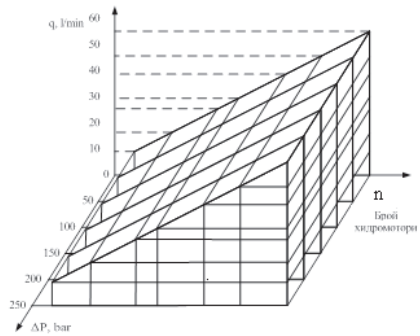
$\rho_{\text{въздух}}$ - плътност на вятъра, kg/m^3 ;

v - скорост на вятъра, далеч пред равнината на ротора, m/s .

Тези формули служат за предварителни изчисления и определяне на коефициентите на полезно действие на всички машини в ХСТ. Тъй като коефициентите на полезно действие зависят от много фактори (плътност и вискозитет на работната течност, работен температурен диапазон, линейни и местни съпротивления), най-точния начин за определяне на големината на коефициентите на полезно действие е опитното им измерване.



Фиг.2 Работни диапазони на ХСТ със степенно регулиране при изменение на дебита



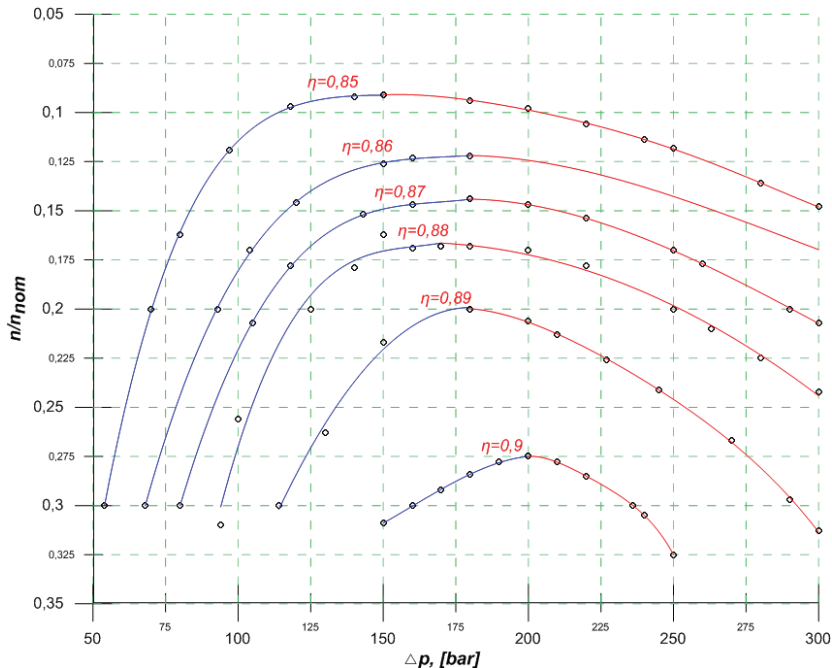
Фиг.3 Комбинаторна характеристика $f(\Delta p, q, \eta)$.

На базата на експериментално снети универсални характеристики на съответните хидравлични машини е разгледано поведението на хидромоторите от хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения при промяна на външното натоварване с отчитане на изменението на коефициентите на полезно действие на съответната помпа и хидромотори. В зависимост от работния диапазон определен от работното налягане на системата (от 50 до 300 bar) и относителните обороти на въртене (n/n_{max}) е извършена апроксимация на характеристиките на коефициентите на полезно действие. За да се улесни апроксимирането всяка една от кривите на постоянен к.п.д. е разделен на два участъка. В Таблица 1 са показани уравненията на полиномите описващи тези характеристики.

Таблица 1

	Първи диапазон (--)	Втори диапазон (--)
$\eta=0,85$	$50 \leq \Delta p \leq 150$	$150 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = 1,75 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 - 1,08 \cdot 10^{-6} \cdot x^3 + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,027 \cdot x + 1,164$	$\eta(\Delta p) = -4,71 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 + 5,37 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 - 1,29 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,18$
$\eta=0,86$	$50 \leq \Delta p \leq 180$	$180 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = 3,66 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 - 3,60 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0,01 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,02 \cdot x + 1,02$	$\eta(\Delta p) = -1,44 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 1,26 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 3,09 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,35$
$\eta=0,87$	$50 \leq \Delta p \leq 180$	$180 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = -2,05 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 17,68 \cdot 10^{-3} \cdot x + 1,15$	$\eta(\Delta p) = -3,34 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 2,74 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 6,75 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,66$
$\eta=0,88$	$50 \leq \Delta p \leq 170$	$170 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = -4,72 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0,22 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,035 \cdot x + 2,03$	$\eta(\Delta p) = -3,34 \cdot 10^{-8} \cdot x^3 + 2,74 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 6,75 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,66$
$\eta=0,89$	$50 \leq \Delta p \leq 180$	$180 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = 2,35 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 - 8,48 \cdot 10^{-3} \cdot x + 0,96$	$\eta(\Delta p) = 5,46 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 - 5,13 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 + 0,18 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,03 \cdot x + 1,89$
$\eta=0,90$	$50 \leq \Delta p \leq 200$	$200 \leq \Delta p \leq 300$
	$\eta(\Delta p) = 1,48 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 7,1 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 0,01 \cdot x - 0,16$	$\eta(\Delta p) = 1,69 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 - 1,5 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 4,98 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 0,74 \cdot x + 41,06$

Експериментално получените резултати и съответните апроксимационни характеристики са показани на Фиг.4 (съответно с „o“ и с „—; —“), където различните режими на работа на хидромоторите са разгледани като промяна на относителните обороти n/n_{\max} в интервала $0,09 \leq n/n_{\max} \leq 0,3$ и диапазон на изменение на налягането от $50 \leq \Delta p \leq 250$ (300)bar.



Фиг.4 Характеристики на постоянен коефициент на полезно действие на хидромотори тип A2F в работния диапазон на ХСТ ($0,09 \leq n/n_{\max} \leq 0,3$ и $50 \leq \Delta p \leq 250(300)$ bar).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведено е експериментално изследване за коефициентите на полезно действие на аксиално-бутални мотори тип A2F при различни режими на работа.
2. Синтезирани са зависимости за апроксимация на експерименталните резултати за $\eta=0,85; 0,86; 0,87; 0,88; 0,89; 0,9$ при различни режими на работа с аналитични функции (Виж Таблица 1 и Фиг.4).
3. В резултат на проведените изследвания става възможно да се въведе програмно управление на хидростатична трансмисия така, че тя да работи в най-добрите режими на работа по отношение на изходящи обороти на хидромоторите и висок коефициент на полезно действие в интервала $\eta=0,85 \div 0,9$.

Литература

- [1]. Ангелов И., П.Кьоргогов „Експериментална установка за изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенератори до 20 kW”, Научна конференция ЕМФ 2011 Сборник Доклади, Хидроаеродинамика и хидравлични машини, Том 2, с. 118-123, 2011г.
- [2]. Ангелов И., П.Кьоргогов „Алгоритъм за изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения”, Машинни науки-Сливен 2012г.
- [3]. Angelov I., P.Kyorgogov „Method for calculation of the hydrostatic transmission applied to the wind turbines with the power approximately up to 20 kW”

[4]. Ангелов И., П.Кьоргогов „Изследване на хидростатична трансмисия за ветрогенераторни съоръжения с включен хидравличен акумулатор”, Научна конференция, ИПФ-Сливен, 2013г.

[5]. Бабаев О.М., Л.Н.Игнатов, Е.С.Кисточкин и др., „Обемние гидромеханическите передачи”, Машиностроение, Л., 1987

[6]. Гигов Б., „Изследване на мотокарна хидрообемна трансмисия”, Автореферат, Изд. „Технически Университет – София”, 2000г.

[7]. Ангелов И., С.Лазаров, Лекции и упражнения по дисциплината „Хидропредаватели”, Технически Университет – София, 2011г.

За контакти:

Доц. д-р Илчо Иванов Ангелов, Катедра “Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, ТУ-София, e-mail: ilangel@tu-sofia.bg

Маг. инж. Петко Иванов Кьоргогов, Катедра “Хидроаеродинамика и хидравлични машини”, ТУ-София, e-mail: petkokyorgogov@abv.bg

Докладът е рецензиран