

ВЫБОР ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ГИБРИДНОГО АВТОМОБИЛЯ

При проектировании электропривода для гибридного легкового автомобиля встает задача выбора тягового двигателя и генератора. Здесь приведены результаты расчетов тепловых режимов основных элементов электропривода для последовательной схемы электропривода. Мощность электропривода в режиме S1 равна 30 кВт, что соответствует необходимой мощности для движения легкового автомобиля (седана) массой 1,5 тонны на скорости около 150 км/час.

Параметры элементов привода гибридного автомобиля для различных электромашин	Ед. изм.	Синхронный мотор с ПМ	Реактивный мотор	Асинхронный мотор
Тяговый двигатель				
Номинальная мощность (P _{мех} , S1)	кВт	30	30	30
Максимальная мощность (≈ 30 сек. у Тойоты-Приус)	кВт	55	55	55
Кратность пускового момента (от M _{ном})	-	3	3	3
КПД (режим S1, высокие обороты, высокая скорость)	%	≈ 96 (до 97)	≈ 93 (до 95)	≈ 92 (до 94)
Коэффициент мощности (cos φ при P _{ном})	-	1,0	0,71	0,71
Тепловая мощность (потери)	кВт	1,25	2,26	2,61
Масса (с корпусом)	кг	≈ 40	≈ 50	≈ 54
Удельная мощность (S1)	кВт/ кг	0,75	0,60	0,56
Тяговый инвертор				
Номинальная мощность (электрическая, S1)	кВА	31,25	45,43	45,93
Максимальная мощность (эл., установленная)	кВА	≈ 93,75	≈ 136,29	≈ 137,79
Коэффициент использования по эл. мощности	-	1,0	0,71	0,71
КПД (электрический, номинальный режим S1)	%	≈ 97	≈ 97	≈ 97
Тепловая мощность (потери)	кВт	0,97	1,41	1,42
Тяговый генератор				
Расчетная номинальная мощность (P _{ном} , S1)	кВт	40,1	47,8	48,3
Стартерно-тормозная мощность (≈ 10 минут)	кВт	10	10	10
КПД (режим S1, двигательный режим)	%	≈ 96,5	≈ 93,5	≈ 92,5
Коэффициент использования P _{ном} (на выпрямитель)	-	0,82	0,71	0,71
Тепловая мощность (потери)	кВт	1,45	3,32	3,92
Масса (с корпусом)	кг	≈ 50,1	≈ 73,5	≈ 79,2
Удельная мощность (двигательный режим S1)	кВт/ кг	0,80	0,65	0,61
Конденсаторы возбуждения (до выпрямителя)	-	нет	да	да
Выпрямитель				
Номинальная мощность с выпрямителя	кВт	32,22	33,26	33,62
КПД (500 В постоянного тока, режим S1)	%	≈ 98	≈ 98	≈ 98
Тепловая мощность (потери)	кВт	0,66	0,68	0,69
Стартерно-тормозной инвертор				
Электрическая мощность (торможение, 10 минут)	кВА	10	14	14
КПД (электрический, режим S1)	%	≈ 97	≈ 97	≈ 97
Коэффициент использования по эл. мощности	-	1,0	0,71	0,71
Тепловая мощность (торможение, P _{мех} = 10 кВт)	кВт	0,31	0,43	0,43
Итоговые результаты				
Эл. мощность тягового инвертора (установленная)	кВА	93,75	136,29	137,79
Общая масса электрических машин	кг	90,1	123,5	133,2
Тепловая мощность в электромашинах (потери)	кВт	2,7	5,6	6,5
Удельная тепловая нагрузка моторов (S1, 30 кВт)	Вт/кг	≈ 30	≈ 45	≈ 49
Тип охлаждения электромашин (рекомендуемый)	-	воздушное	водяное	водяное
Тепловая мощность в силовой электронике	кВт	1,6	2,1	2,1
Тепловая мощность в фильтрах и конденсаторах	кВт	0,7	1,0	1,0
Общая тепловая мощность (S1, P _{ном} = 30 кВт)	кВт	5,0	8,7	9,6
Общий КПД электропривода (S1, P _{ном} = 30 кВт)	%	≈ 85,7	≈ 77,3	≈ 75,8

Для движения легкового автомобиля массой 1,5 тонны на скорости 64 км/час необходима мощность 3,6 кВт (например, Тойота-Приус). Пример – средняя потребляемая мощность для троллейбуса массой 15 тонн равна 45 кВт, но лишь 50% этой мощности приходится на рекуперативный электропривод с двигателем на 175 кВт. Из-за этой особенности тягового привода в городском цикле движения наметилась устойчивая тенденция к воздушному охлаждению электрических машин и инверторов в гибридных легковых автомобилях. Пример – Тойота-Приус третьего поколения (2009 год) с тяговым синхронным двигателем с постоянными магнитами (ПМ) и воздушным охлаждением двигателя. Компания Hyundai Motor представила в 2009 году гибридный легковой автомобиль Elantra LPI HEV, в котором все(!) элементы электропривода имеют воздушное охлаждение.

Серийные асинхронные моторы и генераторы пока дешевле, чем синхронные моторы с ПМ, но их масса в 1,5 раза больше, и для них требуется тяговый инвертор в 1,5 раза мощнее(!), а также тяжелая батарея конденсаторов для генератора. Для асинхронных моторов требуется в 2 раза более мощная система водяного охлаждения, которая для синхронных двигателей с ПМ может вообще отсутствовать при воздушном охлаждении всех элементов электропривода.

Материал подготовил Михалев А. И. (23.06.2010)