

ВЛИЯНИЕ ИНДУКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ РАБОТЕ ОТ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ.

Ковалев Е.Б., Потапов В.Б., Ковалев К.Е.

Донецкий государственный технический университет

vladimir@koe.dgtu.donetsk.ua

The analysis of losses in an asynchronous drive caused by not sinusoidal voltage. The comparative analysis of increase of losses for want of feed of a drive from different types of converters is indicated and the diminutions of these losses are shown.

В настоящее время все большее количество производств нуждается в применении регулируемого электропривода, благодаря которому удается оптимизировать технологические процессы, а следовательно, повысить производительность труда и качество продукции, а также существенно экономить электроэнергию и другие ресурсы (природный газ, пар и т.д.) и улучшить экологическую обстановку. Наиболее подходящим для этого является частотно-регулируемый электропривод и в первую очередь с тиристорным преобразователем частоты ТПЧ. Однако напряжение на выходе тиристорных преобразователей имеет несинусоидальную форму, вследствие чего применение регулируемого электропривода приводит к повышению потерь в электродвигателе, а следовательно, к снижению его к.п.д.

При применении в приводе асинхронного электродвигателя можно выделить два основных источника повышения потерь, вызванных несинусоидальным напряжением:

1. повышение потерь в стали за счет высших гармонических напряжений.
2. повышение потерь в обмотке ротора за счет магнитных полей обратной последовательности несинусоидального напряжения.

Поскольку номинальное скольжение двигателей невелико и составляет всего несколько процентов, повышение потерь в обмотке ротора за счет магнитных полей обратной последовательности несинусоидального напряжения можно определить при холостом ходе электродвигателя. При холостом ходе и питании двигателя от ТПЧ определяются и зависящие от несинусоидального напряжения потери в стали.

Таким образом суммарное повышение потерь от обеих факторов можно оценить по характеристикам холостого хода, определенным при питании электродвигателя от синусоидального напряжения и от ТПЧ.

Для повышения характеристик асинхронных электродвигателей, работающих от ТПЧ в последних принимают различные меры, позволяющие уменьшить потери в электродвигателе. К этим мерам относятся различные законы формирования питающего электродвигатель напряжения при различных частотах питания электродвигателя, в результате чего при изменении частоты выходного напряжения преобразователя от 0 до f_{max} преобразователь на различных участках частотного диапазона работает в различных режимах формирования выходного напряжения.

Как видно из таблицы 1, в которой приведены результаты исследования электродвигателей при питании их от ТПЧ типа SAMI 400F 660 Финской фирмы ABB Stromberg Drives, режим работы ТПЧ оказывает большое влияние на потери в электродвигателе, так увеличение потерь холостого хода по отношению к потерям в стали колеблется от 1.8 до 205.9 раза.

Эти повышения потерь приводят, как видно из таблицы 2, к снижению к.п.д. асинхронного двигателя на 2-4 %, а при неблагоприятных условиях до 30 % в зависимости от формы и частоты питающего напряжения и характеристик асинхронного электродвигателя.

Снижение к.п.д. и $\cos\phi$ двигателей при питании их несинусоидальным напряжением приводит к увеличению нагрева двигателей и, как следствие этого, повышению его установленной мощности, а следовательно, габарита и веса, т.е. повышению расхода активных и конструктивных материалов.

Потери в стали электродвигателя могут быть уменьшены соответствующими выборами как геометрии активной части двигателя, так и формой питающего двигатель напряжения. Потери в роторе также могут быть частично уменьшены рациональной геометрией активных частей, формой питающего напряжения и повышением индуктивности рассеивания двигателя. Возникающее при этом снижение перегрузочной способности двигателя необходимо компенсировать повышением напряжения на зажимах двигателя при его перегрузках.

Кардинальным способом ликвидации этих потерь является применение в электроприводе двигателей без обмотки на роторе, в частности синхронных машин. Применение постоянных магнитов позволит дополнительно повысить к.п.д. привода за счет повышения $\cos\phi$ двигателя.

Таблица 1. - Сопоставление характеристик холостого хода асинхронных электродвигателей при питании от ТПЧ и синусоидального напряжения.

Источник	F1 Гц	BAO2-280 L2			BAO2 280 L8		
		U1 В	Pst (P ₀) Вт	Pst/(P ₀)	U1 В	Pst(P ₀) Вт	Pst/(P ₀)
СГ	60	660	1696	1.0			
ПЧШИМ 11имп	60	762	10240	1.862			
Сеть	50	660	1854	1.0	660	2650	1,0
ТПЧ ШИМ	50	758	10821	4.656	746	7815	2,949
СГ	36				481	1350	1.0
ТПЧ ШИМ	36	639	16935		661	10822	8.016
11 имп							
ТПЧ ШИМ	36	663	13467		650	10513	7.787
19 имп							
ТПЧ ШИМ	25	551	15319		560	10075	
19 имп							
ТПЧ ШИМ	25	568	13767		551	9992	
27 имп							
СГ	21	264	387	1.00			
ТПЧ ШИМ	21	482	14892	38.48	492	8110	
27 имп							
ТПЧ ШИМ	21	491	13576	35.08	487	8240	
АД (однопол)							
СГ	10	132	109	1.00	132	220	1.00
ТПЧ ШИМ	10	340	5531	50.74	341	5126	23.30
АД (однопол)							
ТПЧ ШИМ	10	434	11454	105.00	437	9039	41.00
АД(двухпол)							
СГ ТПЧ ШИМ	5	66	38	1.00			
АД (2 полюсн)	5	377	7825	205.92	364	6599	

Таблица 2. - Влияние режима работы преобразователя частоты на характеристики электродвигателей работающих от ТПЧ.

Вид модуляции	Частот а	BAO2-280L-2			BAO2-280L-2		
		D(к.п.д) %	Kst	KP2	D(к.п.д)	Kst	KP2
Асинхронная двухполярная	10	-23.26	105.0	0.688	-27.72		0.776
Асинхронная Однополярная	10	-7.18	50.7	0.935	-14.66		0.955
	21	-8.07	35.0	0.786	-10.65		0.899
ШИМ 27импульсов	212	-12.02	38.5	0.694	-11.4		0.858
	5	-6.46		0.77	-12.5		0.837
ШИМ 19импульсов	25	-10.21		0.645	-11.7		0.909
	36	-1.78		0.81	-8.83		0.907
ШИМ 11импульсов	36	-7.02		0.65	-9.43		0.835
	50	-3.25	4.6	0.843	-2.72		0.937

Примечания к таблице 2:

1. D(к.п.д)- разность к.п.д. двигателя работающего от ТПЧ и от сети при номинальном напряжении
2. Kst- отношение суммы потерь в стали и в роторе на холостом ходу двигателя при работе от СГ.
3. KP2- отношение мощности двигателя на валу при его работе от тпч к мощности на валу при работе от СГ при номинальном перегреве обмотки статора.

Рассмотрим влияние индуктивности ротора на характеристики электродвигателя при питании его от ТПЧ. Для оценки такого влияния электродвигатель АИУМ 225 S4 был испытан с двумя роторами: с серийным ротором, спроектированным из условия получения максимального $\cos\phi$ и со специально

спроектированным и изготовленным ротор с увеличенной индуктивностью рассеяния. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Как видно из таблицы 3 применение ротора с оптимальной индуктивностью позволяет от 2 до 28 % повысить полезную мощность двигателя в зависимости от режима работы преобразователя частоты.

Таблица 3. - Влияние режима работы преобразователя частоты на характеристики электродвигателя с серийным ротором и ротором с повышенной индуктивностью при работе от ТПЧ

Вид модуляции	Частота Гц	Серийный ротор	Ротор с повышенной L	Коэффициент повышения мощности для ротора с повыш. L
		P2/P2 _{СТ}	P2/P2 _{СТ}	
Асинхронная двухполюсная	10	0.688	0.776	1.145
Асинхронная однополюсная	10	0.935	0.955	1.021
	21	0.786	0.899	1.144
ШИМ 27 импульсов	21	0.694	0.858	1.236
	25	0.770	0.837	1.087
ШИМ 19 импульсов	25	0.645	0.909	1.410
	36	0.810	0.907	1.120
ШИМ 11 импульсов	36	0.650	0.835	1.285
	50	0.843	0.937	1.112

Снижения веса электродвигателя при глубоком регулировании скорости привода, а также некоторого увеличения его к.п.д. можно достигнуть применением независимой вентиляции электродвигателя. Следовательно, для получения экономии электроэнергии недостаточно вместо обычного серийного электродвигателя применить этот же серийный двигатель совместно с полупроводниковым источником напряжения, а необходимо создание специальной модификации электродвигателей, предназначенной для работы от полупроводниковых источников напряжения, а также согласованном с характеристиками двигателя проектированием полупроводниковых источников напряжения.

В связи с этим необходимо разрабатывать комплектный электропривод, состоящий из полупроводникового универсального источника напряжения и асинхронного или синхронного электродвигателя.

Это позволит в зависимости от требований механизма обеспечивать оптимальный режим питания электродвигателя, его максимальный к.п.д., а следовательно, и минимальное потребление электроэнергии.

К сожалению, современный уровень теории по вопросу разработки оптимального регулируемого привода не позволяет решить достаточно полно все вопросы, связанные с его разработкой, поэтому для анализа работы привода и разработки рекомендаций целесообразно применить его физическое и математическое моделирование.

Выводы.

1. Повышение индуктивности рассеяния электродвигателей, работающих от несинусоидального напряжения тиристорных преобразователей частоты, приводит с одной стороны к снижению их $\cos\phi$, а с другой к снижению потерь в роторе электродвигателя.
2. Выбор оптимальной индуктивности рассеяния ротора позволяет, в зависимости от режима работы преобразователя частоты, повысить полезную мощность двигателя при его работе от ТПЧ от 2 до 28 %

ЛИТЕРАТУРА

1. Тиристорные инверторы с широтно-импульсной модуляцией для управления асинхронными двигателями / Сандлер А.С., Гусяцкий Ю.М. - М.: Энергия, 1968.-96с. (Б-ка по автоматике, вып. 316. Электроприводы с полупроводниковым управлением).
2. Тиристорные преобразователи напряжения / Петров Л.П., Андрющенко О.А., Калинос В.И. и др. - М.: Энергоатомиздат, 1986.-196с.
3. РЖ "Электротехника", 1991, N 8, 8И57.