

۲-۱- مقدمه

تحلیل، مدل‌سازی و شبیه‌سازی، مرحله مهم قبل از اقدام به پیاده‌سازی و ساخت سیستم‌های الکترونیک قدرت نظیر درایوهای الکتریکی است. بدست آوردن یک مدل از درایو که شامل سیستم کنترل، اینورتر و موتور بوده و بتواند در عین سادگی، رفتار درایو را بطور کامل و دقیق نشان دهد، برای مطالعه و صحت‌گذاری الگوریتم‌های کنترلی موردنظر نظیر روشهای کنترل بدون حسگر و روش‌های کاهش ریپل گشتاور بسیار ضروری است. روش‌های مدل‌سازی درایوهای الکتریکی به دو دسته عمده روش‌های با استفاده از عناصر مداری و روش‌های بر مبنای رفتار عناصر مداری دسته‌بندی می‌شوند. در روش اول با بهره بردن از نرم‌افزارهای تحلیل مدار، عناصر درایو الکتریکی با مدل‌های واقعی ادوات نیمه‌هادی و الکترونیکی مدل‌سازی می‌شوند. در این روش، الگوریتم‌های کنترلی توسط مدارهای آنالوگ پیاده‌سازی می‌شوند. این نرم‌افزارها برای طراحی در سطح مدار نظیر ساختار سیستم قدرت، مدارهای ضربه‌گیر^۱ و مدارهای جانبی بسیار مناسب هستند. با این وجود مدل‌های عناصر بکار رفته در این نرم‌افزارها دارای توابع غیرخطی با عبارات نمایی بوده که زمان اجرای برنامه را طولانی نموده و سبب تولید حجم زیادی از اطلاعات شده و در نهایت مشکلات همگرایی بوجود می‌آید. در روش دوم، برای تبیین عملکرد اینورتر و درایو، معادلات حالت مناسب به دست آورده می‌شوند. برای مثال در نرم‌افزار Matlab با توجه به معادلات حالت استخراج شده، درایو بوسیله توابع کتابخانه‌ای موجود مدل‌سازی می‌شود. در این نرم‌افزار، الگوریتم‌های کنترلی بدون استفاده از مدل واقعی آنالوگ آنها پیاده‌سازی می‌شوند. با این‌وجود بدست آوردن معادلات حالت مطابق با آرایش مدار، کاری طاقت‌فرسا و زمان‌بر بوده و علاوه بر آن با ایجاد تغییرات در ساختار مدار، معادلات حالت باید دوباره بازنویسی شوند. لذا یک روش مدل‌سازی که بتواند علاوه بر سادگی، خواسته‌های طراح را نیز برآورده سازد، نمی‌تواند صرفاً بر مبنای معادلات حالت سیستم درایو باشد. تحقیقات متعدد نشان داده است که استفاده از توابع سوئیچینگ (SFC)^۲ یک ابزار موثر برای مدل‌سازی و درک عملکرد سیستم درایو می‌باشد که در آن عملکرد واقعی عناصر کلیدزنی بدون استفاده از مدل واقعی آنها مدل‌سازی می‌شود [۱].

هدف از این فصل تبیین یک مدل دینامیکی دقیق اما ساده برای تحلیل و شبیه‌سازی روش‌های کنترلی ارائه شده در فصل‌های آتی می‌باشد. در این فصل پس از معرفی موتور

¹ Snubber

² Switching function concept (SFC)

BLDC و ذکر ویژگی‌های آن، یک آرایش با ساختار کاهش‌یافته از نوع چهارسوئیچه جهت استفاده در کاربردهای ارزان قیمت ارائه شده ویژگی‌های آن بصورت تحلیلی بررسی می‌گردد. سپس روش‌های مختلف مدل‌سازی درایو موتور BLDC مرور شده و برای مدل‌سازی درایو موتور BLDC با اینورتر چهارسوئیچه از روش مدل‌سازی بر مبنای توابع سوئیچینگ استفاده می‌شود. در نهایت قابلیت روش مدل‌سازی ارائه شده توسط شبیه‌سازی صحنه‌گذاری شده و رفتار درایو ارائه شده در شرایط مختلف کاری تحلیل می‌گردد.

۲-۲- تئوری و عملکرد موتور BLDC

۲-۲-۱- تعریف موتور BLDC و ساختار آن

استاندارد انجمن ملی سازندگان تجهیزات الکتریکی آمریکا^۱ موتور BLDC را چنین تعریف می‌کند: یک موتور DC بدون جاروبک، ماشین دوار سنکرونی است که دارای روتور آهنربای دائم بوده و از موقعیت‌های زاویه‌ای مشخصی از محور روتور، جهت کموتاسیون الکترونیکی استفاده می‌کند [۲]. جریان فازها در موتور BLDC مربعی شکل بوده و با توجه به ساختار روتور، رفتار موتور BLDC مشابه با رفتار یک موتور DC آهنربای دائم کموتاتور دار است. شکل (۱-۲) ساختار دو نوع موتور DC کموتاتور دار و BLDC را با یکدیگر مقایسه می‌کند. در یک موتور DC کموتاتور دار، معکوس شدن پلاریته توسط کموتاتور و جاروبک‌ها انجام می‌شود. درحالی‌که در موتور BLDC، هیچگونه جاروبک مکانیکی وجود نداشته و عمل کموتاسیون با کلیدزنی ادوات الکترونیک قدرت و با دانستن موقعیت زاویه‌ای روتور انجام می‌شود. عمل کموتاسیون در هر دو موتور در موقعیت‌های مشخصی از روتور انجام می‌شود و مشخصه سرعت- گشتاور آنها یکسان است [۳].

¹ National Electric Manufacturers Association (NEMA)