

- هرگونه چاپ و تکثیر (اعم از: زیراکس، بازنویسی، ضبط کامپیوتری، تهیه CD) از محتویات این اثر بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. متخلفان به موجب بند ۵ از ماده ۲ قانون حمایت از مؤلفان، مصنفان و هنرمندان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.
- کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به انتشارات آزاده است.



سری کتاب‌های راهیان ارشد

انتشارات آزاده

کنکور کارشناسی ارشد ماشین‌های الکتریکی

ویژه رشته مهندسی برق

- تألیف: محسن عباسی
- اصلاحات و اضافات: محمد نیک‌نظر
- ناظر فنی و چاپ: امیر بدوستانی
- حروفچینی: انتشارات آزاده
- لیتوگرافی: آرمانسا
- چاپ: اصلانی
- صحافی: صالحانی
- تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
- چاپ ششم: پاییز ۱۳۹۱، اول ۸۵
- ناشر: انتشارات آزاده
- شابک: ۷-۶۵۷-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸
- بها: ۱۶۰۰۰ تومان

مسئولیت مطالب کتاب به عهده مؤلف و حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

- مرکز پخش: انتشارات آزاده - خیابان انقلاب، مقابل دانشگاه تهران (بین خ فخرآزی و خ دانشگاه)، جنب بانک ملت، پاساژ پلاک ۱۲۰۲، طبقه زیرهمکف - کدپستی ۱۳۱۴۷۵۴۷۱۳ تلفن: ۶۶۴۱۴۳۷۴ - ۶۶۴۱۵۷۵۳ - ۶۶۴۱۴۵۱۰ دورنویس: ۶۶۴۱۴۵۱۰

| | |
|---------------------|--|
| سرشناسه | : عباسی، محسن، ۱۳۵۶ |
| عنوان و نام پدیدآور | : ماشین‌های الکتریکی ویژه رشته مهندسی برق / مؤلف محسن عباسی؛ اصلاحات محمد نیک‌نظر. |
| مشخصات نشر | : تهران: آزاده، ۱۳۹۱. |
| مشخصات ظاهری | : ۴۶۳ ص:، مصور، جدول. نمودار. |
| فروست | : سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی راهیان ارشد. |
| شابک | : ۷-۶۵۷-۵۰۱-۹۶۴-۹۷۸ |
| وضعیت فهرست نویسی | : فیپا |
| یادداشت | : چاپ ششم. |
| موضوع | : دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها. |
| موضوع | : ماشین‌آلات برقی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی). |
| موضوع | : برق -- مهندسی -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی). |
| موضوع | : آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی -- ایران. |
| شناسه افزوده | : نیک‌نظر، محمد |
| رده‌بندی کنگره | : ۱۳۹۱ ک ۹ ۲۳۱۴ ع / LB ۲۳۵۳ |
| رده‌بندی دیویی | : ۳۷۸/۱۶۶۴ |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۲۹۰۸۷۱۵ |

برای خرید *online* به آدرس زیر مراجعه کنید:

www.rahian-arshad.com

یادداشت ناشر

«سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی ارشد» در بیش از ۳۰۰ جلد، حاصل تلاش فراوان، دقت نظر و انتقال دانش و تجربه بیش از یکصد نفر از نیروهای جوان و متخصص با تحصیلات عالی دانشگاهی از دانشگاه‌های معتبر صنعتی امیرکبیر، علم و صنعت، صنعتی شریف و تهران با تجربه تدریس در دانشگاه‌ها و مؤسسات برتر کنکوری می‌باشد. در این مجموعه، سعی شده تا با بهره‌گیری از کادر فنی مجرب نشر، کیفیت کار را از نظر علمی و فنی بالا برده و به ویژه از نظر حروفچینی و صفحه‌بندی متن، کتاب را نسبت به موارد مشابه متمایز نماییم.

با توجه به نکات یاد شده، پیش‌بینی می‌شد که **راهیان کنکور کارشناسی ارشد** با مطالعه این مجموعه، ضمن صرفه‌جویی در وقت برای تهیه منابع معتبر، با مفاهیم و نکات ضروری مفیدی آشنا شوند که این مهم، با توجه به استقبال خوب و تماس‌های تشکرآمیز خوانندگان محترم در این مدت، بر ما مشخص شد.

راهیان ارشد اولین سعی و تلاش به سبک خود بوده برای ارائه مجموعه‌ای کاملی از بهترین خلاصه درس‌ها، نکات کاملاً ویژه کنکوری و تست‌های طبقه‌بندی شده موضوعی سال‌ها کنکور کارشناسی ارشد با پاسخ تشریحی براساس سرفصل‌های مصوب شورای عالی برنامه‌ریزی و همچنین سرفصل‌های متداول در دانشگاه‌ها، که به عنوان مرجعی معتبر برای استفاده داوطلبان کنکور دانشگاه‌های سراسری و آزاد (برای اولین بار) به بازار عرضه شده است.

انتشارات آزاده از کلیه عزیزانی که به هر نوعی در تولید و توزیع این مجموعه سهمی داشته‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماید و نیز کلیه کاستی‌ها و اشکالات موجود را برعهده می‌گیرد و به همین منظور و برای رفع آن‌ها، در انتظار دریافت نظرات انتقادی از استادان گرانقدر، دانشجویان و دیگر خوانندگان این مجموعه و حتی همکاران است.

مدیر انتشارات آزاده

جعفر بدوستانی

درباره کتاب‌های «راهیان ارشد»

سری کتاب‌های آمادگی برای کنکور کارشناسی ارشد «**راهیان ارشد**» بی‌شک جزو اولین کتاب‌هایی هستند که در این زمینه به صورتی کامل طبقه‌بندی و تألیف گردیده‌اند. لزوم تهیه این مجموعه، نیاز مبرم دانشجویان علاقمند به ادامه تحصیل و عدم دسترسی آنها به مراجع جامع و مفید علمی بود، لذا بر آن شدیم تا با همراهی گروه مؤلفین دانشگاهی، سری کتاب‌های «**راهیان ارشد**» را منتشر نموده و در اختیار شما دانشجویان عزیز قرار دهیم. این انتشارات با کمک گروه مؤلفین که بیشتر از نخبگان و برگزیدگان دانشگاهی هستند، توانسته این کار بزرگ را به انجام برساند. برای هر رشته، چند جلد کتاب مربوط به دروس تخصصی آن رشته تهیه شده است. فصل‌های کتاب مطابق با سرفصل‌های آموزش عالی بوده و هر یک از آنها دارای سه بخش است:

بخش اول: خلاصه مطالب درس و نکات ویژه کنکور.

بخش دوم: تست‌های طبقه‌بندی شده موضوعی کنکورهای سراسری و دانشگاه آزاد اسلامی.

بخش سوم: پاسخ تشریحی تست‌ها.

این مجموعه شامل تست‌های کنکور سراسری و آزاد و تألیفی به همراه پاسخ‌های تشریحی می‌باشد و هر سال پس از برگزار شدن آزمون‌ها، سؤالات به همراه پاسخ تشریحی در هر چاپ جدید به انتهای کتاب افزوده می‌شود.

از آنجایی که هیچ کتابی عاری از نقص نیست، از اساتید و دانشجویان گرامی تقاضا داریم اشتباهات احتمالی ما را همراه با انتقادات و پیشنهادات خود به نشانی ناشر ارسال کنند تا در چاپ‌های بعدی از آنها استفاده شود و امیدواریم این مجموعه با کمترین اشکال در اختیار داوطلبان محترم قرار گیرد.

انتشارات آزاده

فهرست مطالب

| | |
|--|-----------|
| فصل اول: اصول تبدیل انرژی الکترومکانیکی..... | ۹ |
| ۱ - ۱ - سیستم‌های مغناطیسی تک تحریکه..... | ۹ |
| ۱ - ۱ - ۱ - انرژی الکتریکی ورودی..... | ۱۰ |
| ۱ - ۱ - ۲ - انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی..... | ۱۰ |
| ۱ - ۱ - ۳ - کار مکانیکی انجام شده..... | ۱۳ |
| ۱ - ۱ - ۴ - محاسبه نیروی مکانیکی..... | ۱۶ |
| ۲ - ۱ - سیستم‌های مغناطیسی دو تحریکه..... | ۱۷ |
| تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل اول..... | ۲۰ |
| پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل اول..... | ۴۹ |
| فصل دوم: ماشین‌های جریان مستقیم (موتورها و ژنراتورها)..... | ۸۹ |
| ۱ - ۲ - توصیف ساختمان آرمیچر در یک ماشین dc..... | ۹۰ |
| ۲ - ۲ - انواع سیم‌پیچی در ماشین dc..... | ۹۱ |
| ۱ - ۲ - ۲ - سیم‌پیچی رویهم (حلقوی)..... | ۹۱ |
| ۲ - ۲ - ۲ - سیم‌پیچی موجی..... | ۹۱ |
| ۳ - ۲ - معادلات ولتاژ تولید شده داخلی و گشتاور القایی در ماشینهای واقعی..... | ۹۲ |
| ۴ - ۲ - توان و تلفات در ماشینهای dc..... | ۹۳ |
| ۵ - ۲ - معرفی ژنراتورهای جریان مستقیم..... | ۹۴ |
| ۱ - ۵ - ۲ - ژنراتورهای با تحریک مستقل (جداگانه)..... | ۹۴ |
| ۲ - ۵ - ۲ - ژنراتور DC شنت (موازی)..... | ۹۵ |
| ۳ - ۵ - ۲ - ژنراتور DC سری..... | ۹۶ |
| ۴ - ۵ - ۲ - ژنراتور DC کمپوند افزایشی..... | ۹۷ |
| ۵ - ۵ - ۲ - ژنراتور DC کمپوند نقصانی..... | ۹۹ |
| ۶ - ۲ - موتور DC شنت..... | ۱۰۱ |
| ۱ - ۶ - ۲ - بررسی مشخصه سرعت - جریان..... | ۱۰۱ |
| ۲ - ۶ - ۲ - بررسی مشخصه گشتاور - جریان..... | ۱۰۲ |
| ۳ - ۶ - ۲ - بررسی مشخصه سرعت - گشتاور..... | ۱۰۲ |
| ۷ - ۲ - موتور DC سری..... | ۱۰۳ |
| ۱ - ۷ - ۲ - مشخصه سرعت - جریان..... | ۱۰۳ |
| ۲ - ۷ - ۲ - مشخصه گشتاور - جریان..... | ۱۰۴ |
| ۳ - ۷ - ۲ - مشخصه سرعت - گشتاور..... | ۱۰۵ |

| | |
|-----|---|
| ۱۰۵ | ۸-۲ - موتور DC کمپوند..... |
| ۱۰۶ | ۸-۲ - ۱ - مشخصه سرعت - جریان |
| ۱۰۶ | ۸-۲ - ۲ - مشخصه گشتاور - جریان |
| ۱۰۷ | ۸-۲ - ۳ - مشخصه سرعت - گشتاور..... |
| ۱۰۹ | تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل دوم (بخش اول)..... |
| ۱۲۸ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل دوم (بخش اول)..... |
| ۱۶۴ | تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل دوم (بخش دوم)..... |
| ۱۸۷ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل دوم (بخش دوم)..... |

فصل سوم: ترانسفورماتورها ۲۳۳

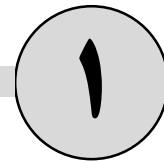
| | |
|-----|---|
| ۲۳۳ | ۳-۱ - ترانسفورماتور ایده‌آل..... |
| ۲۳۴ | ۳-۲ - توان در ترانسفورماتور ایده‌آل..... |
| ۲۳۴ | ۳-۳ - انتقال امیدانس توسط ترانسفورماتور..... |
| ۲۳۵ | ۳-۴ - مدار معادل دقیق یک ترانسفورماتور تک‌فاز..... |
| ۲۳۵ | ۳-۵ - مدار معادل تقریبی یک ترانسفورماتور..... |
| ۲۳۶ | ۳-۶ - تعیین مقدار مؤلفه‌ها در مدل ترانسفورماتور..... |
| ۲۳۶ | ۳-۶-۱ - آزمایش مدار باز..... |
| ۲۳۷ | ۳-۶-۲ - آزمایش اتصال کوتاه..... |
| ۲۳۸ | ۳-۷ - سیستم اندازه‌گیری «پریونیت»..... |
| ۲۳۹ | ۳-۸ - بارده و تنظیم ولتاژ ترانسفورماتور..... |
| ۲۴۰ | ۳-۹ - اتو ترانسفورماتور..... |
| ۲۴۱ | ۳-۹-۱ - رابطه بین ولتاژ جریان در اتوترانسفورماتورها..... |
| ۲۴۱ | ۳-۹-۲ - مزیت توان ظاهری در اتوترانسفورماتورها..... |
| ۲۴۲ | ۳-۱۰ - ترانسفورماتورهای ۳ فاز..... |
| ۲۴۲ | ۳-۱۰-۱ - اتصال (Y-Y)..... |
| ۲۴۳ | ۳-۱۰-۲ - اتصال Y-D..... |
| ۲۴۳ | ۳-۱۰-۳ - اتصال D-Y..... |
| ۲۴۴ | ۳-۱۰-۴ - اتصال D-D..... |
| ۲۴۵ | تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل سوم..... |
| ۲۷۵ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل سوم..... |

فصل چهارم: موتورهای القایی سه فاز..... ۳۲۵

| | |
|-----|--|
| ۳۲۵ | ۴-۱ - ساختمان موتورهای القایی..... |
| ۳۲۵ | ۴-۲ - تولید گشتاور در یک موتور القایی..... |
| ۳۲۶ | ۴-۳ - مفهوم لغزش روتور..... |

| | |
|-----|--|
| ۳۲۶ | ۴ - ۴ - فرکانس الکتریکی در روتور |
| ۳۲۷ | ۴ - ۵ - مدار معادل یک موتور القایی |
| ۳۲۷ | ۴ - ۵ - ۱ - مدل مداری روتور |
| ۳۲۸ | ۴ - ۵ - ۲ - مدار معادل نهایی موتور |
| ۳۲۹ | ۴ - ۶ - تلفات و نمودار جریان توان |
| ۳۲۹ | ۴ - ۷ - توان و گشتاور در موتور القایی |
| ۳۳۰ | ۴ - ۸ - بدست آوردن معادله گشتاور القایی در موتور القایی |
| ۳۳۴ | تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل چهارم |
| ۳۶۳ | پاسخ تست‌های طبقه‌بندی شده کنکور سراسری و آزاد فصل چهارم |
| ۴۱۷ | تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد از سال ۱۳۸۹ به بعد |

اصول تبدیل انرژی الکترومکانیکی



مقدمه

در هنگام تبدیل انرژی از صورتی به صورت دیگر اصول تبدیل انرژی مطرح می‌گردد. بر طبق این اصول انرژی به خودی خود بوجود نمی‌آید و یا نابود نمی‌شود و فقط می‌تواند از شکلی به شکل دیگر تبدیل شود.

در یک دستگاه مبدل انرژی بخشی از انرژی ورودی به شکل مطلوب تبدیل می‌شود، بخش دیگر در دستگاه ذخیره می‌شود و بقیه آن هم تلف می‌شود. در همین راستا معادله موازنه انرژی باید شامل این چهار مؤلفه انرژی باشد که برای حالت موتوری می‌توان آن را به صورت زیر نوشت:

کل انرژی ورودی = انرژی مکانیکی خروجی + کل انرژی ذخیره شده + کل انرژی تلف شده
تساوی فوق برای حالت ژنراتوری به صورت زیر در می‌آید:

کل انرژی مکانیکی ورودی = کل انرژی الکتریکی خروجی + انرژی ذخیره شده + کل انرژی تلف شده
در کل می‌توان نوشت:

در یک سیستم تبدیل انرژی الکترومکانیکی (موتوری یا ژنراتوری):

$$W_{elec} \text{ (الکتریکی)} = W_{mech} \text{ (مکانیکی)} + W_{fld} \text{ (میدان)} \quad (1-1)$$

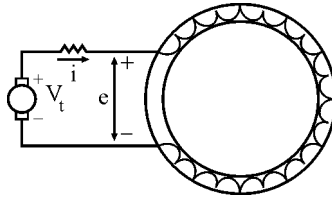
۱-۱- سیستم‌های مغناطیسی تک تحریکه

در اینجا عبارات انرژی الکتریکی ورودی، انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی کار مکانیکی انجام شده و بالاخره نیروی مکانیکی را برای سیستم‌های مغناطیسی تک تحریکه بدست می‌آوریم:

۱-۱-۱- انرژی الکتریکی ورودی

یک سیستم مغناطیسی ساده چنبره‌ای شکل را در نظر بگیرید که توسط یک سیم‌پیچ تحریک شده است (شکل ۱)

👉 **نکته:** رابطه ولتاژ لحظه‌ای برای مدار الکتریکی با بکار بردن قانون ولتاژ کیرشهف نوشته می‌شود:



شکل ۱) سیستم مغناطیسی ساده

$$V_t = ri + e, e = \frac{d\psi}{dt} \quad (2-1)$$

$$V_t = ri + \frac{d\psi}{dt}$$

در اینجا ψ شار لحظه‌ای پیوندی با مدار (شار در برگیرنده) است.

$$V_t idt = ri \int dt + id\psi \Rightarrow (V_t - ir) idt = id\psi \Rightarrow e idt = id\psi \quad (3-1)$$

بنابراین در مورد دیفرانسیل انرژی الکتریکی می‌توان نوشت:

$$dW_{elec} = e idt = id\psi \quad (4-1)$$

با فرض اینکه شار ϕ از همه N دور پیچک بگذرد، آنگاه شار در برگیرنده (پیوندی) ψ برابر $N\phi$ خواهد بود.

بنابراین داریم:

$$dW_{elec} = id\psi = N id\phi = f.d\phi \quad (5-1)$$

در رابطه فوق ϕ شار لحظه‌ای هسته و $f = Ni$ نیروی محرکه مغناطیسی mmf لحظه‌ای سیم‌پیچ است. اگر مدار مغناطیسی خطی فرض شود آنگاه روابط زیر در آن همواره صادق خواهند بود.

$$f = Ni = R\phi = HL_{av}, R = \frac{L_{av}}{\mu A}, B = \mu H, \phi = BA \quad (6-1)$$

در روابط فوق: μ ضریب نفوذپذیری مغناطیسی هسته، H میدان مغناطیسی هسته، L_{av} طول متوسط هسته، R مقاومت مغناطیسی هسته، N تعداد دورهای سیم‌پیچ تحریک ورودی، i جریان سیم‌پیچ، ϕ شار مغناطیسی هسته می‌باشد.

۱-۱-۲- انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی

یک رله مغناطیسی ساده را در نظر می‌گیریم، شکل (۲-۱) ابتدا آرمیچر (جوشن) در موقعیت باز قرار

دارد. وقتی کلید S بسته می‌شود جریان i در N دور سیم‌پیچ برقرار می‌شود، و شار مغناطیسی بسته به نیروی محرکه مغناطیسی Ni ($m.m.f$) و مقاومت مغناطیسی مسیر مغناطیسی تشکیل می‌شود. بنابراین میدان مغناطیسی ایجاد شده تولید قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی می‌کند. در شکل (۲- a) نیروی مغناطیسی بوجود آمده درصدد است طول فاصله هوایی را کم کند. اگر آرمیچر نتواند حرکت کند، کار مکانیکی انجام شده dW_{mech} صفر است و بنابراین داریم:

$$dW_{elec} = 0 + dW_{fld} \quad (۷-۱)$$

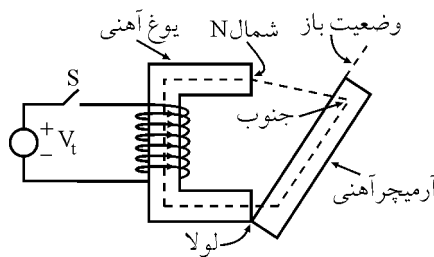
بنابراین از رابطه (۵-۱) داریم:

$$dW_{fld} = dW_{elec} = id\psi = f.d\phi$$

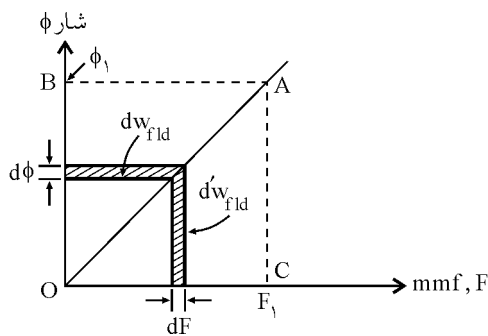
اگر مقدار شار اولیه صفر باشد، انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی W_{fld} با برقراری شار ϕ_1 یا شار در برگیرنده ψ_1 توسط رابطه زیر بدست می‌آید:

$$W_{fld} = \int_0^{\psi_1} id\psi = \int_0^{\phi_1} f.d\phi \quad (۸-۱)$$

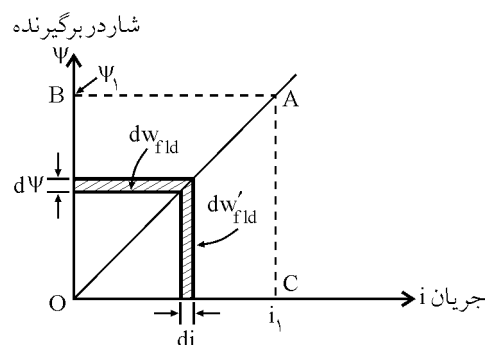
در رابطه فوق f و i باید به ترتیب بر حسب ψ ، ϕ بیان شوند.



شکل (۲- a)



($b-2$)



($c-2$)

شکل (۲) (a) رله مغناطیسی ساده، (b) و (c) انرژی و شبه انرژی برای یک مدار مغناطیسی خطی

در شکل (۲-ا) وقتی آرمیچر در موقعیت باز نگه داشته شود بخش عمده mmf در فاصله هوایی صرف می‌شود و مثل این است که طبق شکل‌های (۲-ب) و (۲-ج) اشباع مغناطیسی اتفاق نمی‌افتد: برای شکل (۲-ب) داریم:

$$W_{fld} = \int_{\psi_1} dW_{fld} = \int_{\psi_1} f \cdot d\phi = \text{سطح } OABD \quad (9-1)$$

و برای شکل (۲-ج) خواهیم داشت:

$$W_{fld} = \int_{\psi_1} dW_{fld} = \int_{\psi_1} i \cdot d\psi = \text{سطح } OABD \quad (10-1)$$

برای شکل‌های (۲-ب) و (۲-ج) در مجموع داریم:

$$\text{سطح } OACD = \int dW'_{fld} = \int_{\phi} \psi \cdot df = \int_{\psi} i \cdot d\psi \quad (11-1)$$

سطح $OACD$ شبه انرژی (کوانرژی) W'_{fld} نامیده می‌شود.

$$W'_{fld} = \int_{\phi} \psi \cdot df = \int_{\psi} i \cdot d\psi$$

اگر مدار مغناطیسی شکل (۲-ا) را خطی فرض کنیم، آنگاه انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی W_{fld} و W'_{fld} را می‌توان به صورت‌های زیر نوشت:

$$W_{fld} = W'_{fld} = \frac{1}{2} f \phi = \frac{1}{2} \psi i = \frac{1}{2} \phi^2 R = \frac{1}{2} L i^2, L = \frac{\psi}{i} \quad (12-1)$$

در رابطه فوق L ضریب خودالقائه مغناطیسی می‌باشد.

اگر W_{fld1} و W_{fld2} به ترتیب انرژی مغناطیسی ذخیره شده در آهن و فاصله هوایی باشند از شکل (۲-ا) کل انرژی ذخیره شده W_{fld} مجموع این دو مؤلفه است:

$$W_{fld} = W_{fld1} + W_{fld2} \quad (13-1)$$

چگالی انرژی مغناطیسی ذخیره شده W_{fld1} برای آهن به صورت زیر بدست می‌آید:

$$(14-1)$$

$$W_{fld1} = \frac{W_{fld1} \text{ (انرژی مغناطیسی)}}{\text{(سطح مقطع مؤثر عمود بر خطوط شار مغناطیسی) (طول مسیر مغناطیسی که از آهن می‌گذرد)}} = \frac{1}{2} \mu_1 H_1^2 = \frac{B^2}{2\mu_1}$$

و برای فاصله هوایی چگالی انرژی مغناطیسی ذخیره شده از روابط زیر بدست می آید:

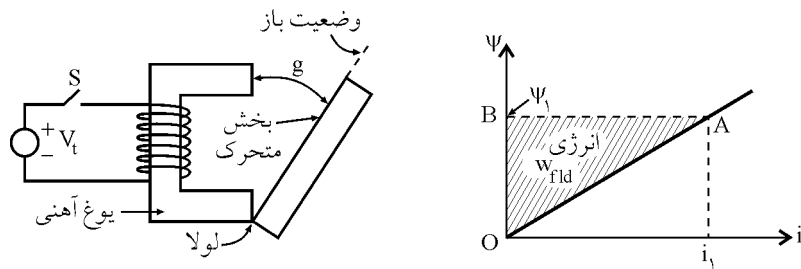
$$W_{fld} = \frac{1}{2} BH = \frac{1}{2} \mu_0 H^2 = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (15-1)$$

چگالی انرژی و کوانرژی برای یک مدار مغناطیسی خطی از روابط زیر بدست می آید:

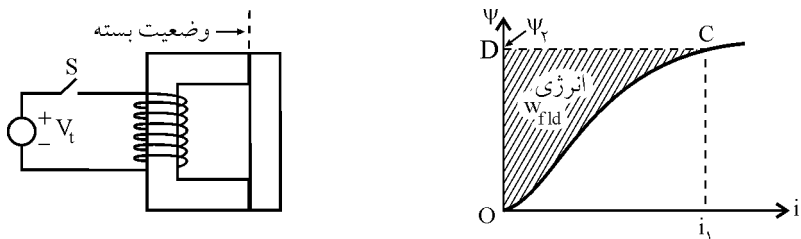
$$W_{fld} = W'_{fld} = \frac{1}{2} \mu H^2 = \frac{B^2}{2\mu} = \frac{1}{2} BH \quad (16-1)$$

۱-۱-۳- کار مکانیکی انجام شده

مطابق شکل ۳ (a) فرض شده است که طرف قابل حرکت آرمیچر در موقعیت باز نگه داشته شده است. وقتی کلید S بسته می شود جریان تحریک از صفر به i_1 می رسد و شار در برگیرنده به ψ_1 افزایش می یابد.



(a)



(b)

شکل ۳ (a) - آرمیچر در موقعیت باز نگه داشته است.

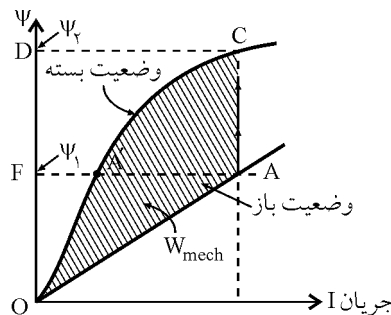
(b) - آرمیچر در موقعیت بسته نگه داشته است.

برای حالتی که آرمیچر در موقعیت باز است، میدان در مدار مغناطیسی توسط جریان تحریک i_1 تشکیل می شود. این میدان نیروی مغناطیسی ایجاد می کند که باعث می شود طرف آزاد آرمیچر حرکت کند و به موقعیت بسته برسد. افزایش شار در برگیرنده emf مخالف در سیم پیچ القاء می کند که موجب

برقراری جریان i در مدار تحریک می‌شود:

$$i = \frac{V_t - \text{نیروی ضد محرکه القایی در سیم‌پیچ ضمن حرکت آرمیچر}}{\text{امپدانس سیم‌پیچ}} \quad (17-1)$$

دو حالت حدی حرکت آرمیچر می‌تواند وجود داشته باشد که عبارتند از: الف - حرکت آرام: در این حالت وقتی آرمیچر در موقعیت باز باشد، جریان تحریک i_1 است. شار در برگیرنده ψ_1 و نقطه کار A می‌باشد شکل ۴ (a) در موقعیت بسته آرمیچر شار در برگیرنده ψ_2 ، جریان i_1 و نقطه کار C است.



شکل ۴ (a) - کار مکانیکی انجام شده وقتی که آرمیچر حرکت آرام دارد

اکنون تغییر در انرژی ذخیره شده در میدان مغناطیسی W_{fld} را در فاصله زمانی که آرمیچر از وضعیت باز (نقطه A) به وضعیت بسته (نقطه C) می‌رسد، بررسی می‌کنیم:

$$W_{fld} = \text{(انرژی ذخیره شده در وضعیت باز)} - \text{(انرژی ذخیره شده در وضعیت بسته)} \quad (18-1)$$

$$W_{fld} = \text{سطح } OAA'FO - \text{سطح } OA'CDFO \quad (19-1)$$

در طی این تغییرات، انرژی الکتریکی عبارتست از:

$$W_{elec} = \int_{\psi_1}^{\psi_2} i_1 d\psi = i_1 (\psi_2 - \psi_1) = \text{سطح } ACDFAA' \quad (20-1)$$

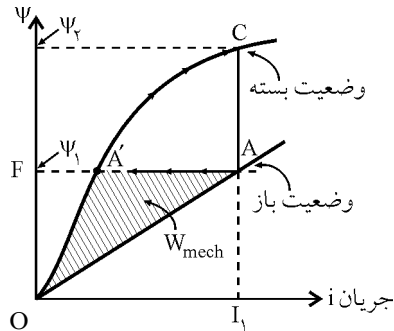
اما داریم:

$$W_{elec} = W_{fld} + W_{mech} \quad (21-1)$$

پس کار مکانیکی در طی حرکت آرام آرمیچر چنین خواهد بود:

$$W_{mech} = \text{سطح } OACA'O - \text{سطح } OA'CDFO = \text{سطح } OACDFO \quad (22-1)$$

ب - حرکت تند: مطابق شکل ۴ (b) زمانی که آرمیچر حرکت تند ناگهانی داشته باشد، خواهیم داشت:



شکل ۴ (b) - کار مکانیکی انجام شده وقتی که آرمیچر حرکت ناگهانی دارد

$$W_{fld} = \text{سطح } OAA'FO - \text{سطح } OA'FO \quad (23-1)$$

اما تغییر انرژی الکتریکی بدلیل عدم تغییر شار در برگیرنده، صفر خواهد بود:

$$W_{elec} = \int_{\psi_1}^{\psi_2} i d\psi = 0 \quad (24-1)$$

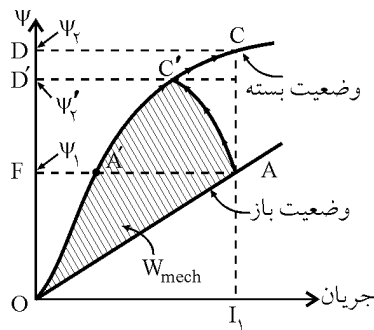
از قبل داشتیم:

$$W_{elec} = W_{fld} + W_{mech} \quad (25-1)$$

$$W_{mech} = \text{سطح } OAA'O \quad \text{پس خواهیم داشت:}$$

ج - حرکت گذرا: مطابق شکل ۵ وقتی که آرمیچر حرکت گذرا دارد آنگاه کار مکانیکی انجام شده چنین

محاسبه می شود:



(a)

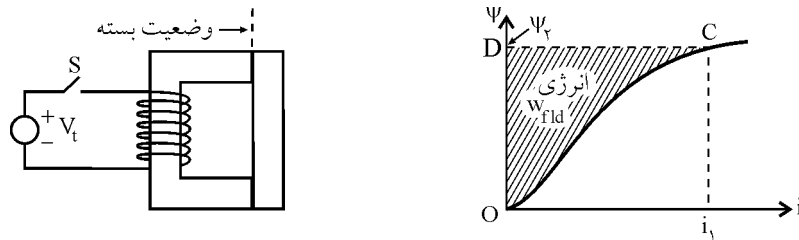
شکل ۵) مکان هندسی شار در برگیرنده - جریان در اثنای حرکت گذرا

$$W_{fld} = \text{سطح } OAA'FO - \text{سطح } OA'C'D'FO \quad (26-1)$$

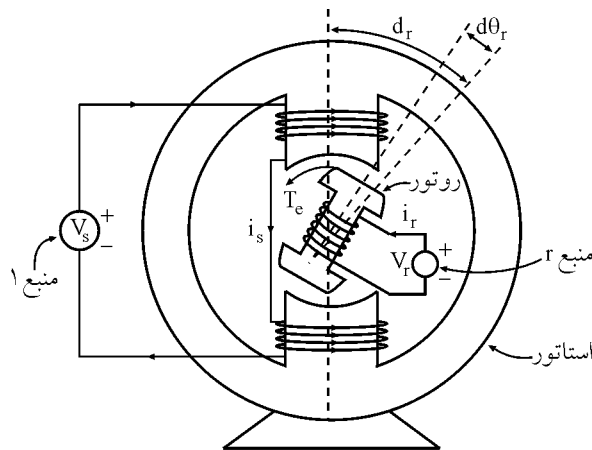
$$W_{elec} = \int_{\psi_1}^{\psi_2} i d\psi = \text{سطح } AC'D'FA'A \quad W_{elec} = W_{fld} + W_{mech} \quad (27-1)$$

لذا داریم:

$$W_{mech} = \text{سطح } OAC'A'O \quad (28-1)$$



شکل ۵ (b)



شکل ۶ سیستم مغناطیسی دوتحریکه

۱-۱-۴- محاسبه نیروی مکانیکی

نیروی مغناطیسی تمایل به کوتاه کردن فاصله هوایی دارد و با کاهش فاصله هوایی افزایش می‌یابد، در نتیجه مقدار متوسط نیروی مغناطیسی $Fe(av)$ از رابطه زیر بدست می‌آید: