

- 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.



انتشارات آزاده

سری کتاب‌های راهیان ارشد

کنکور کارشناسی ارشد بررسی سیستم‌های قدرت

ویژه رشته مهندسی برق

- مؤلف: محمد نیک نظر
- ناظر فنی و چاپ: امیر بدوستانی
- حروفچینی: انتشارات آزاده
- لیتوگرافی: سی نور
- چاپ: مروی
- صحافی: صالحانی
- تیراژ: ۱۲۰۰ نسخه
- چاپ چهارم: پاییز ۱۳۹۱، اول ۸۷
- ناشر: انتشارات آزاده
- شابک: ۴ - ۶۵۸ - ۵۰۱ - ۹۶۴ - ۹۷۸
- بها: ۹۰۰۰ 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 فخررازی و خ دانشگاه)، جنب بانک ملت، پاساژ پلاک ۱۲۰۲، طبقه زیرهمکف - کدپستی ۱۳۱۴۷۵۴۷۱۳ تلفن: ۶۶۴۱۴۳۷۴ - ۶۶۴۱۵۷۵۳ - ۶۶۴۱۴۵۱۰ دورنویس: ۶۶۴۱۴۵۱۰

سرشناسه	: نیک نظر، محمد
عنوان و نام پدیدآور	: بررسی سیستم‌های قدرت / مؤلف محمد نیک نظر.
مشخصات نشر	: تهران: آزاده، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری	: ۲۵۵ ص: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: کنکور کارشناسی ارشد. سری کتاب‌های راهیان ارشد.
شابک	: ۴ - ۶۵۸ - ۵۰۱ - ۹۶۴ - ۹۷۸
یادداشت	: چاپ چهارم.
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: برق -- سیستم‌ها -- راهنمای آموزشی (عالی)
موضوع	: برق -- سیستم‌ها -- آزمون‌ها و تمرین‌ها (عالی)
موضوع	: دانشگاه‌ها و مدارس عالی -- ایران -- آزمون‌ها
موضوع	: آزمون دوره‌های تحصیلات تکمیلی -- ایران
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۱ ب ۴ ن ۹ / TK ۱۰۰۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۲۹۰۸۵۵۲

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: مشخصه‌های خطوط انتقال HVAC	۹
۱ - ۱ - اندوکتانس	۹
۱ - ۱ - ۱ - اندوکتانس خط دوسیمه (تکفازه)	۱۰
۱ - ۱ - ۲ - اندوکتانس خط سه‌فازه با فواصل متساوی	۱۱
۱ - ۱ - ۳ - اندوکتانس خط سه‌فازه با فواصل نامتساوی	۱۱
۱ - ۱ - ۴ - اندوکتانس خطوط با هادی‌های مرکب	۱۲
۲ - ۱ - کاپاسیتانس	۱۳
۱ - ۲ - ۱ - محاسبه ظرفیت خط انتقال تکفاز	۱۴
۲ - ۲ - ۱ - محاسبه ظرفیت خطوط سه‌فاز با فواصل مساوی	۱۵
۳ - ۲ - ۱ - محاسبه ظرفیت خطوط سه‌فاز با فواصل نامتساوی	۱۵
۴ - ۲ - ۱ - محاسبه ظرفیت خط انتقال با در نظر گرفتن اثر زمین	۱۵
فصل دوم: پریونیت در سیستم‌های قدرت	۳۳
۱ - ۲ - تعاریف	۳۳
۲ - ۲ - تبدیل مینا	۳۴
فصل سوم: مدل‌سازی خطوط انتقال و روابط ولتاژ و جریان	۴۸
۱ - ۳ - خواص ماتریس انتقال	۴۸
۲ - ۳ - خط متوسط	۴۹
۳ - ۳ - خط بلند	۴۹
۱ - ۳ - ۳ - مدار هم‌ارز خط بلند	۵۰
۲ - ۳ - ۳ - معادلات موج در خطوط انتقال	۵۱
۳ - ۳ - ۳ - طول موج در حالت سیکل کامل	۵۱
۴ - ۳ - ۳ - خط بی‌نهایت	۵۱
۵ - ۳ - ۳ - امپدانس ضربه (امپدانس موجی)	۵۲
۶ - ۳ - ۳ - خط SIL	۵۲
۴ - ۳ - توان در خطوط انتقال	۵۳
۵ - ۳ - جبران‌سازی	۵۵
۱ - ۵ - ۳ - جبران‌سازی موازی	۵۵
۲ - ۵ - ۳ - جبران‌سازی سری	۵۶

- ۵۶ ۳-۵-۳- روش شیفت فاز.
- ۵۷ ۳-۵-۴- کنترل شرایط بی‌باری (کم‌باری)
- ۵۸ ۳-۵-۵- آزمایش‌های خط انتقال.

۹۳ فصل چهارم: محاسبات بر مبنای Y_{bus} و Z_{bus} ، پخش بار

- ۹۳ ۴-۱- ماتریس ادمیتانس شین
- ۹۵ ۴-۱-۱- تقلیل شین با حذف شین P
- ۹۶ ۴-۲- ماتریس امیدانس شین
- ۹۶ ۴-۳- حل پخش بار
- ۹۷ ۴-۳-۱- حل پخش بار با روش گوس - سایدل (GS)
- ۹۸ ۴-۳-۲- حل پخش بار با روش نیوتن-رافسون (NR)
- ۹۹ ۴-۳-۳- حل پخش بار با روش مجزای سریع (FDLF)
- ۱۰۰ ۴-۳-۴- پخش بار DC (روش DCLF)

۱۲۷ فصل پنجم: شبکه‌های توزیع

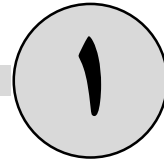
- ۱۲۷ ۵-۱- انواع شبکه‌های توزیع
- ۱۲۷ ۵-۱-۱- شبکه شعاعی
- ۱۲۸ ۵-۱-۲- شبکه حلقوی
- ۱۲۸ ۵-۱-۳- شبکه فوق حلقوی
- ۱۲۸ ۵-۲- محاسبات افت ولتاژ
- ۱۲۹ ۵-۲-۱- خط توزیع شعاعی با چندین انشعاب
- ۱۳۱ ۵-۲-۲- محاسبات افت ولتاژ در شبکه‌های توزیع حلقوی و از دو سو تغذیه
- ۱۳۳ ۵-۳- محاسبه جریان کشیده‌شده از منبع
- ۱۳۳ ۵-۳-۱- محاسبه جریان کشیده‌شده از منبع تغذیه در یک شبکه از یکسو تغذیه
- ۱۳۴ ۵-۳-۲- محاسبه جریان کشیده‌شده از منابع تغذیه در یک شبکه از دو سو تغذیه با ولتاژهای برابر (شبکه حلقوی)
- ۱۳۴ ۵-۴- قطع در شبکه‌های حلقوی
- ۱۳۵ ۵-۵- توزیع یکنواخت بار
- ۱۳۵ ۵-۵-۱- توزیع یکنواخت بار در شبکه از یکسو تغذیه
- ۱۳۵ ۵-۵-۲- توزیع یکنواخت بار در شبکه از دوسو تغذیه

۱۵۳ فصل ششم: توزیع اقتصادی تولید

- ۱۵۳ ۶-۱- نمودارها
- ۱۵۳ ۶-۱-۱- تابع و نمودار هزینه سوخت ژنراتور (Fuel cost)

- ۱۵۴ (Incremental fuel-cost) تابع و نمودار هزینه سوخت افزایشی
- ۱۵۴ توزیع اقتصادی بار بدون در نظر گرفتن تلفات و محدودیت‌های ژنراتورها
- ۱۵۵ توزیع اقتصادی بار با چشم‌پوشی از تلفات و در نظر گرفتن محدودیت ژنراتورها
- ۱۵۶ توزیع اقتصادی بار با در نظر گرفتن تلفات
- ۱۵۷ به دست آوردن تابع تحلیلی تلفات سیستم
- ۱۶۹ تست‌های کنکور کارشناسی ارشد سراسری و دانشگاه آزاد از سال ۱۳۸۷ به بعد

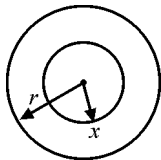
مشخصه‌های خطوط انتقال HVAC



در حالتی که ولتاژ و جریان زیاد باشد دیگر نمی‌توان سیم را ایده‌آل در نظر گرفت. عبور جریان سبب ظهور اندوکتانس و مقاومت می‌گردد و وجود اختلاف پتانسیل سبب ظهور کاپاسیتانس (ظرفیت) و هدایت (کندوکتانس) می‌شود.

۱-۱- اندوکتانس

با فرض چگالی جریان یکنواخت و صرفنظر از اثر پوستی برای یک متر از هادی داریم:




$$\oint H_x \cdot dL = I_x \quad H_x = \frac{I_x}{2\pi x} = \frac{x^2}{2\pi x r^2} I \quad B_x = \mu H_x$$

$$W = \frac{1}{2} L_{in} I^2 = \frac{1}{2} \int \int \int H \cdot B \, dx \, x \, d\phi$$

$$\rightarrow L_{in} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} = \frac{\mu_0}{8\pi} (H/m)$$

$$\oint H_x \cdot dL = I \quad H_x = \frac{I}{2\pi x} \quad B_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$$

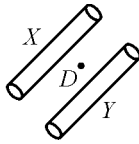
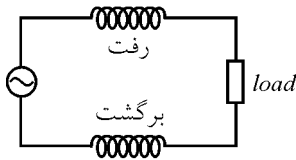


$$\phi = \iint B \cdot ds = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} \rightarrow L_{ex} = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D_2}{D_1}$$

$$L_{total} = L_{in} + L_{ex}$$

۱-۱-۱- اندوکتانس خط دوسیمه (تکفازه)

در خط تکفاز، یک سیم مربوط به خط رفت و سیم دیگر مربوط به خط برگشت است. پس این دو اندوکتانس مطابق شکل زیر سری می‌شوند:



$$\begin{cases} L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_x} \\ L_Y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r_y} \end{cases}$$

$$\rightarrow L_{line} = L_X + L_Y = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{D^2}{r_x r_y} \xrightarrow{\text{معمولاً } r_x = r_y} L_{line} = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$$

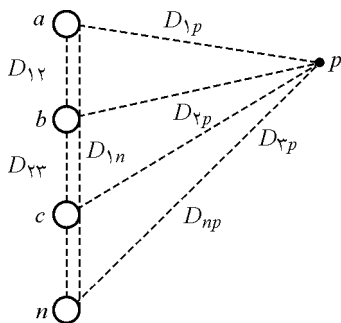
$$L_{total} = L_{in} + L_{ex} = 10^{-7} + 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r} = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r e^{-\frac{1}{4}}} = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r'}$$

معمولاً $r' = r e^{-\frac{1}{4}}$ را شعاع تنظیم شده می‌نامند.

- اگر هادی توخالی باشد داریم: $L_{in} = 0$ پس $L_{total} = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{r}$

۱-۱-۱-۱- محاسبه شار پیوندی هر هادی در یک مجموعه شامل n هادی

$$I_a + I_b + I_c + \dots + I_n = 0$$



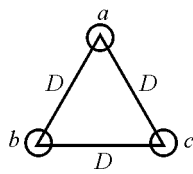
$$\begin{cases} \Psi_{\nu p_1} = 2 \times 10^{-7} I_a \ln \frac{D_{1p}}{r_a} \\ \Psi_{\nu p_2} = 2 \times 10^{-7} I_b \ln \frac{D_{2p}}{D_{12}} \\ \vdots \\ \Psi_{\nu p_n} = 2 \times 10^{-7} I_n \ln \frac{D_{np}}{D_{n1}} \end{cases}$$

$$\Psi_a = \Psi_{p_1} + \Psi_{p_2} + \dots + \Psi_{p_n} = 2 \times 10^{-v} \left[I_a \ln \frac{D_{p_1}}{r'_a} + I_b \ln \frac{D_{p_2}}{D_{p_1}} + \dots + I_n \ln \frac{D_{p_n}}{D_{p_{n-1}}} \right]$$

با میل کردن p به سمت بی‌نهایت و اعمال شرط $I_a + I_b + I_c + \dots + I_n = 0$ داریم:

$$\Psi_a = 2 \times 10^{-v} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{p_1}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_n})$$

۱-۱-۲- اندوکتانس خط سه‌فازه با فواصل متساوی



$$\Psi_a = 2 \times 10^{-v} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D} + I_c \ln \frac{1}{D})$$

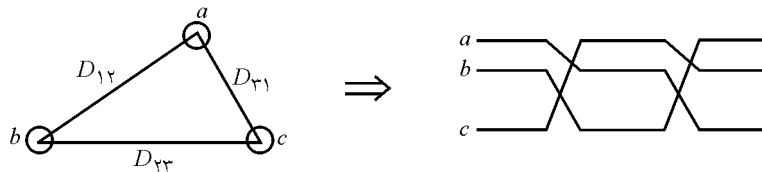
در این حالت، بار متعادل فرض می‌شود پس داریم: $I_a + I_b + I_c = 0$. در نتیجه رابطه Ψ_a به صورت زیر می‌شود:

$$\Psi_a = 2 \times 10^{-v} I_a \ln \frac{D}{r'_a}$$

$$L_a = \frac{\Psi_a}{I_a} = 2 \times 10^{-v} \ln \frac{D}{r'_a} = L_b = L_c$$

۱-۱-۳- اندوکتانس خط سه‌فازه با فواصل نامتساوی

اگر تقارن وجود نداشته باشد یا بلند شدن طول خط، عدم تقارن تشدید می‌شود. برای حل این مشکل از ترانسپوزیشن (جاب‌جایی فاز) استفاده می‌کنند.



یک سوم اول: $\Psi_{a_1} = 2 \times 10^{-v} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{12}} + I_c \ln \frac{1}{D_{31}})$

یک سوم دوم: $\Psi_{a_2} = 2 \times 10^{-v} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{23}} + I_c \ln \frac{1}{D_{12}})$

یک سوم سوم: $\Psi_{a_3} = 2 \times 10^{-v} (I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{31}} + I_c \ln \frac{1}{D_{23}})$

$$\Psi_{ave} = \frac{\Psi_{a_1} + \Psi_{a_2} + \Psi_{a_3}}{3} = \frac{2}{3} \times 10^{-7} I_a \left(3 \ln \frac{1}{r'} + 3 \ln (D_1 D_2 D_3) \right)^{\frac{1}{3}}$$

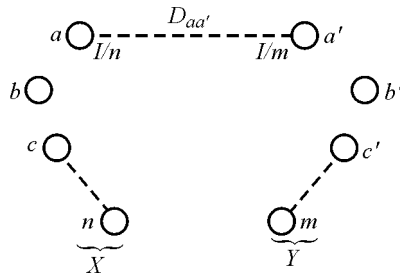
$$L_a = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{31}}}{r'}$$

$$L_a = L_b = L_c = L = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR} \left(\frac{H}{m/phase} \right)$$

شعاع متوسط هندسی: GMR فاصله متوسط هندسی: GMD

۱-۴-۱- اندوکتانس خطوط با هادی‌های مرکب

الف) برای خطوط یک فاز مطابق شکل مقابل فرض می‌کنیم n خط رفت و m خط برگشت داریم:



$$\Psi_a = 2 \times 10^{-7} \left[\left(I_a \ln \frac{1}{r'_a} + I_b \ln \frac{1}{D_{ab}} + \dots + I_n \ln \frac{1}{D_{an}} \right) + \left(I_{a'} \ln \frac{1}{D_{aa'}} + I_{b'} \ln \frac{1}{D_{ab'}} + \dots + I_m \ln \frac{1}{D_{am}} \right) \right]$$

داریم:

$$I_a = I_b = \dots = I_n = \frac{I}{n} \quad , \quad I_{a'} = I_{b'} = \dots = I_m = \frac{-I}{m}$$

پس:

$$\Psi_a = 2 \times 10^{-7} I \left[\ln \frac{1}{\sqrt[n]{r'_a D_{ab} \dots D_{an}}} + \ln \sqrt[m]{D_{aa'} D_{ab'} \dots D_{am}} \right]$$

$$L_a = \frac{\Psi_a}{I_a} = \frac{\Psi_a}{\frac{I}{n}} = n \frac{\Psi_a}{I}$$

$$L_a = 2 \times 10^{-7} n \ln \left[\frac{\sqrt[m]{D_{aa'} D_{ab'} \dots D_{am}}}{\sqrt[n]{D_{aa} D_{ab} \dots D_{an}}} \right] h/m \quad r'_a = D_{aa}$$

L_n, L_c, L_b نیز مانند L_a محاسبه می‌شوند و داریم:

معادل موازی شده $L_X = L_n, \dots, L_b, L_a$

$$L_{ave} = \frac{L_a + L_b + \dots + L_n}{n}$$

به جای L_a ، L_{ave} و به جای L_b ، L_{ave} و ... می‌گذاریم.
حال که همه را مساوی L_{ave} گرفتیم معادل موازی آن‌ها می‌شود:

$$L_X = \frac{L_{ave}}{n}$$

$$L_X = 2 \times 10^{-7} \ln \frac{\sqrt[n^m]{(D_{aa'} D_{ab'} \dots D_{am})(D_{ba'} D_{bb'} \dots D_{bm}) \dots (D_{na'} D_{nb'} \dots D_{nm})}}{\sqrt[n^y]{(D_{aa} D_{ab} \dots D_{an})(D_{ba} D_{bb} \dots D_{bn}) \dots (D_{na} D_{nb} \dots D_{nn})}}$$

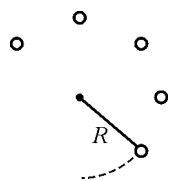
$$= 2 \times 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$$

در محاسبه L_Y ، GMD آن با GMD مربوط به L_X برابر است اما برای GMR مربوط به L_Y داریم:

$$GMR = \sqrt[m^y]{(D_{a'a'} D_{a'b'} \dots D_{a'm})(D_{b'a'} D_{b'b'} \dots D_{b'm}) \dots (D_{ma'} D_{mb'} \dots D_{mm})}$$

ملاحظه می‌شود در این حالت اندوکتانس کاهش می‌یابد. مثلاً اگر به جای یک هادی، دو هادی در هر خط داشته باشیم داریم: $L = L_a \parallel L_b$ که با فرض $L_a = L_b$ ، اندوکتانس خط دو هادی نصف اندوکتانس خط تک‌هادی می‌شود.

ب) برای خطوط سه فاز مرکب (باندل شده) نیز محاسبات مشابه حالت‌های قبل است که به راحتی با درک مفهوم GMR و GMD انجام می‌شود.

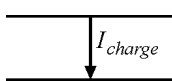


نکته: اگر هادی‌ها روی رئوس n ضلعی منتظم باندل شوند داریم:

R : شعاع دایره محیطی n ضلعی منتظم

$$GMR = \sqrt[n]{R^{n-1} r' n}$$

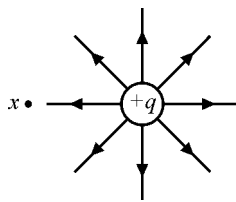
۱-۲- کاپاسیتانس



اختلاف پتانسیل بین سیم‌ها طبق رابطه $C = \frac{q}{V}$ موجب جمع شدن بار الکتریکی می‌شود که این بار طبق رابطه $I_{charge} = \frac{dq}{dt}$ باعث ایجاد جریان بین خطوط می‌شود.

در این حالت I نسبت به V ، 90° پیش‌فازی دارد.
 سلف و مقاومت: پارامترهای سری
 خازن و هدایت (کندوکتانس): پارامترهای موازی

۱-۲-۱- محاسبه ظرفیت خط انتقال تکفاز



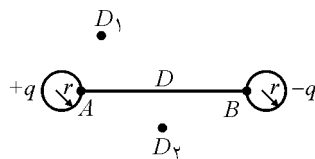
$$\oint D \cdot ds = Q$$

$$\oint D \cdot ds = q \text{ col/m}$$

برای بار واحد طول داریم:

$$D = \frac{q}{2\pi x} \quad \epsilon E = D \quad E = \frac{q}{2\pi \epsilon x} \quad \epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r \xrightarrow{\epsilon_r=1} \epsilon = \epsilon_0$$

$$E = \frac{q}{2\pi \epsilon_0 x}$$

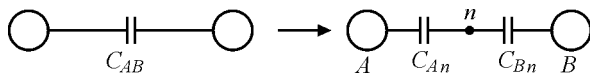


$$V_{12} = V_1 - V_2 = \int_{D_1}^{D_2} E \cdot dL = \int_{D_1}^{D_2} \frac{q}{2\pi \epsilon_0 x} dx$$

$$V_{12} = \frac{q}{2\pi \epsilon_0} \ln \frac{D_2}{D_1} \quad C_{12} = \frac{q}{V_{12}} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D_2}{D_1}} \text{ F/m}$$

$$C_{AB} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r_a r_b}} \xrightarrow{r_a \approx r_b} C_{AB} = \frac{\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

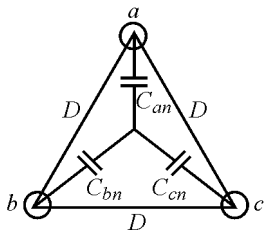
ظرفیت به دست آمده مربوط به C_{AB} است. اگر ظرفیت هریک از هادی‌ها نسبت به زمین را بخواهیم داریم:



$$C_{An} = C_{Bn} = 2C_{AB} = \frac{2\pi \epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}}$$

برخلاف میدان مغناطیسی که ممکن است درون هادی مقدار غیرصفری داشته باشد، میدان الکتریکی همیشه درون هادی صفر است پس در عبارت $C_{total} = C_{in} + C_{ex}$ ، C_{in} برابر با صفر است.

۱-۲-۲- محاسبه ظرفیت خطوط سه فاز با فواصل مساوی



$$L: I_a + I_b + I_c = 0$$

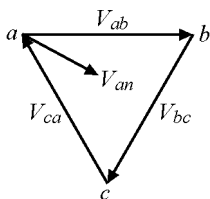
$$C: q_a + q_b + q_c = 0$$

توزیع یکنواخت خطی

$$V_{ab} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D}{r} + q_b \ln \frac{r}{D} + q_c \ln \frac{D}{D} \right]$$

$$V_{ac} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[q_a \ln \frac{D}{r} + q_c \ln \frac{r}{D} + q_b \ln \frac{D}{D} \right]$$

برای سیستم سه فاز متغیر داریم:



$$V_{ab} + V_{ac} = 3V_{an}$$

$$V_{an} = \frac{1}{3} \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[2q \ln \frac{D}{r} + \underbrace{(q_b + q_c)}_{-q_a} \ln \frac{r}{D} \right]$$

$$V_{an} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q_a \ln \frac{D}{r}$$

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D}{r}} = C_{bn} = C_{cn} \quad F/m$$

۱-۲-۳- محاسبه ظرفیت خطوط سه فاز با فواصل نامتساوی

در این حالت محاسبه شبیه به محاسبه برای اندوکتانس است.

$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r}}$$

توجه: در محاسبه‌ی کاپاسیتانس با r سروکار داریم نه r' !

۱-۲-۳-۱- ظرفیت خطوط باندا یک یا چندمداره

محاسبه ظرفیت در این قسمت هم مشابه قسمت اندوکتانس است. تنها کافی است GMD و GMR_C

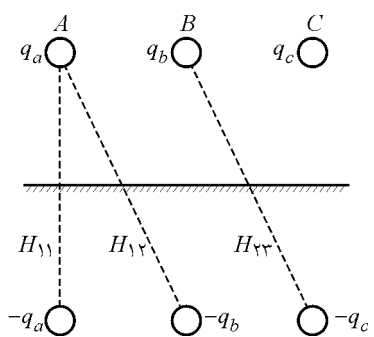
به درستی محاسبه شوند.

$$C_{an} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{GMD}{GMR_C}}$$

۱-۲-۴- محاسبه ظرفیت خط انتقال با در نظر گرفتن اثر زمین

همانطور که از درس الکترومغناطیسی می‌دانید وجود هادی زمین شده در اطراف یک توزیع بار معادله میدان الکتریکی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در اینجا اثر زمین را مشابه اثر هادی زمین شده در نظر می‌گیریم.

با استفاده از قضیه تصاویر (که خود از قضیه یکتایی مسائل الکترومغناطیسی نتیجه شده است) ظرفیت بین خطوط سه فاز را محاسبه می‌کنیم:



$$\frac{V_{AB}^1 + V_{AB}^2 + V_{AB}^3}{3} = V_{AB}^{Ave}$$

$$\frac{V_{AC}^1 + V_{AC}^2 + V_{AC}^3}{3} = V_{AC}^{Ave}$$

$$V_{an} = \frac{1}{3} (V_{AB}^{Ave} + V_{AC}^{Ave})$$

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_{an}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{D_{eq}}{r} - \ln \sqrt{\frac{H_{12} H_{23} H_{31}}{H_{11} H_{22} H_{33}}}}$$

همانطور که دیده می‌شود اثر زمین باعث افزایش کاپاسیتانس می‌شود و هرچه ارتفاع از سطح زمین کمتر شود، افزایش کاپاسیتانس، بیشتر می‌شود.

البته تئوری تصاویر در مورد محاسبه میدان‌های مغناطیسی و اندوکتانس هادی‌ها هم وجود دارد. اما چون اثر جریان‌های تصویر در اینجا کم است از آن‌ها صرف‌نظر شده است.

G و R : مقاومت سیم مورد استفاده توسط کارخانه داده می‌شود و در این درس به ندرت محاسبه می‌شود. کندوکتانس بین خطوط نیز در اینجا در نظر گرفته نمی‌شود به دلیل آن که هم اثر آن معمولاً ناچیز است و هم این که محاسبه آن مشکل است!