

## فهرست مطالب

چکیده

مقدمه

### فصل اول

امواج الکترومغناطیسی

میدانهای الکتریکی و مغناطیسی

امواج متحرک روی یک خط انتقال

فتونها و امواج

فتونها

میدانهای الکترومغناطیسی در فرکانس قدرت

### فصل دوم

ثابت‌های خطوط انتقال

جنس هادی و ساختمان آن

مقاومت خط

ضریب القایی خط

خطوط سه فاز

هادیهای متساوی‌فاصله

مساوی کردن ولتاژهای القایی بوسیله پیچیدن خط

ظرفیت خط

ظرفیت خط سه‌فاز

### فصل سوم

محاسبه پارامترهای خط انتقال و کابلها قدرت برش اجزاء محدود

مدل ریاضی

معادلات میدانها

انرژی و تلفات

## فصل چهارم

تداخل امواج الکترومغناطیسی با شبکه‌های مخابراتی

اثرات الکترومغناطیسی

اثرات الکترواستاتیکی

کاهش اثر تداخل

## فصل پنجم

تأثیر میدانهای الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز بر جنین مرغ، قبل یا در حین انکوباسیون

مقدمه

شرح تحقیق

نتیجه‌گیری

## فصل ششم

میدانهای الکترومغناطیسی ELF و سلامت انسان

استانداردهای حدود تابش

استانداردهای حریم خطوط انتقال برق در ایران

اندازه‌گیری شدت میدانهای ELF

بحث و تفسیر نتایج اندازه‌گیری شدت میدان در مشهد مقدس

پیشنهادات

## فصل هفتم

اثر امواج الکترومغناطیسی در فرکانسهای قدرت بر انسان

استانداردهای ایمنی

بررسی پارامترهای EM در بدن

آثا و سندرومهای حاصل

اثر امواج الکترومغناطیسی روی شیردهی گاوها و حیوانات دیگر

اثر میدانهای مغناطیسی فرکانس پائین

## فصل هشتم

بررسی آثار بیولوژیک خطوط انتقال و توزیع نیرو و مروری بر حد حریم مجاز اطراف آن

پدیده فیزیکی

اثرات بیولوژیک

اثرات کرونا در محیط زیست

اثرات میدان مغناطیسی روی موجودات زنده

بررسی شدت میدانهای الکتریکی در اطراف خطوط انتقال نیرو

### چکیده

مقاله گردآوری شده در مورد بررسی امواج الکترومغناطیسی در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تأثیرات آن: شامل قسمتهای متنوع امواج و میدانهای الکترومغناطیسی، اندازه‌گیری ثابتهای خط انتقال با استفاده از روشهای تحلیلی و اجزاء محدود، بررسی و تداخل امواج با شبکه‌های مخابراتی، راههای کاهش تداخل، اثرات امواج بر موجودات زنده و سلامتی انسان، بررسی حدود مجاز اطراف سیمهای فشار قوی و جریم مجاز در ایران و دیگر موارد می‌باشد.

از آنجایی که توسعه روزافزون صنایع و همچنین افزایش استفاده از تجهیزات رفاهی برق در واحدهای مسکونی، توسعه و گسترش شبکه‌ها و افزایش میزان تولید را بطور جدی باعث گردیده و گسترش شبکه‌ها انتقال، بوجود آورنده نوعی آلودگی بوده که به نظر من نقش نامطلوب آن در سلامت و بهداشت فرد و جامعه برتر از آلودگی‌های دیگر است.

در این پروژه سعی شده که مجموعه‌ای از تحقیقات انجام شده اثرات امواج الکترومغناطیسی در نقاط مختلف جهان را جمع‌آوری شود و تا حدود عملی راههای پیشگیری و کاهش اثرات بیان گردد.

## مقدمه

اهمیت و نقش امواج الکترومغناطیسی از قدیم‌الایام در زمینه‌هایی چون ارتباطات و مخابرات و رادار موضوعی بوده که همگان از آن واقف بوده‌اند ولی از آنجایی که درس میدانها و امواج یکی از دروس اختصاصی رشته مخابرات بوده که به عنوان پایه دروس دیگر مهندسی الکترومغناطیسی تلقی می‌شود و زمینه تخصصهای مختلفی را مانند نظریه و تکنیک میکروویو، آنتن، انتشارات امواج، نظیر امواج الکترومغناطیسی و غیره را فراهم می‌سازد.

امروزه نقش میدان مغناطیسی در جوامع صنعتی بیش از پیش در سلامت و بهداشت فرد و جامعه حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به پیشرفت علم و تکنولوژی و طراحی و ساخت سیستمهای متعدد در واقع هدف از آنها برداشتن قسمتی از مشکلات بشر بوده است، گرفتاریهای، بیشتری عارض نسل بشر بوده است.

صدمات نه تنها در تکنولوژی گسترده بلکه حتی در مقیاسهای کوچک- مثل پرتوافکنی ایزوتوپیهای دستگاههای عکاسی کوچک - نیز بوجود آمده‌اند. صدمات وارده را می‌توان به چهار قسمت تقسیم کرد:

۱- صدمات اقتصادی

۲- صدمات تکنولوژی

۳- صدمات جسمی

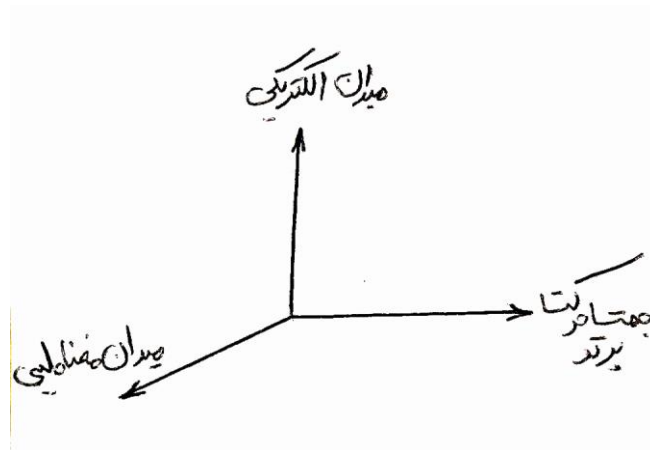
۴- صدمات روحی و روانی

البته خود صدمات روحی و روانی در نهایت منجر به صدمات جسمانی می‌شود و صدمات جسمانی ممکن است در تمام حالات صدمات عصبی را شامل شوند.

## فصل اول

### امواج الکترومغناطیسی [۱]

اتمهای یک ماده می‌توانند بطریق مختلف از محیط اطراف خود انرژی جذب کنند. مثلاً اگر ماده‌ای در معرض تابش حرارت قرار گیرد تمام یا مقداری از انرژی حرارتی که به ماده می‌رسد، توسط اتمهای آنها جذب میشود و در نتیجه اتمها به حالت تهییج درمی‌آیند. هر یک از اتمهای تهییج شده ممکن است در بازگشت به حال عادی خود، انرژی جذب شده را بصورت پرتوهایی از خود تابش کند، این پرتوها را پرتوهای الکترومغناطیس گویند. اصطلاح الکترومغناطیسی بدان جهت است که هر کدام از این پرتوها همواره با دو میدان الکتریکی و مغناطیسی که جهت آنها بر جهت حرکت پرتو عمودند، همراه است.

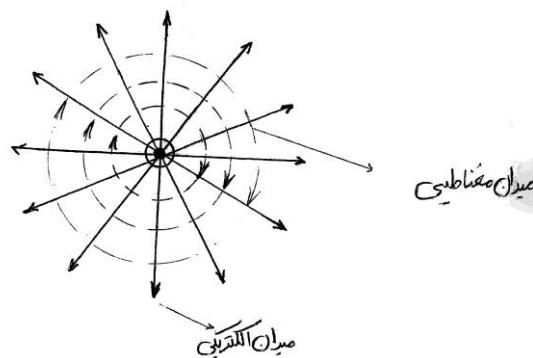


شکل ۱- جهت حرکت پرتو الکترومغناطیسی و میدانهای الکتریکی و مغناطیسی آن  
امواج الکترومغناطیسی دارای طیف یا اسپکتروم وسیعی می‌باشند که شامل امواج رادیویی رادار، مادون قرمز، نور مرئی ماوراء بنفش و بالاخره اشعه‌های ایکس و گاما میباشد.  
امواج الکترومغناطیسی دارای تعداد خواص مشترک هستند، مثلاً سرعت تمام آنها در خلاء یکسان است. این سرعت را سرعت سیر نور گویند و مقدار آن برابر است با  $3 \times 10^8 \text{m/s}$  متر بر ثانیه یا  $300.000 \text{km/s}$  کیلومتر در ثانیه

### میدانهای الکتریکی و مغناطیسی

بین بارهای الکتریکی نسبت بهم نیروئی بوجود میآید، بطوریکه بارهای همنام یکدیگر را دفع می‌کند و بارهای غیر همنام یکدیگر را جذب می‌کنند و این شبیه نیروهای مغناطیسی است، همانطوری که قوای مغناطیسی از میدان مغناطیسی حاصل می‌شود - قوای جذب و دفع الکتریکی از میدان الکتریکی سرچشمه می‌گیرد. وقتی که جریانی از سیم می‌گذرد در اطراف سیم خطوط میدان مغناطیسی که بشکل دایره‌ای متحدالمركز هستند تشکیل می‌گردند. ولی خطوط میدان الکتریکی بصورت شعایی از سطح سیم بخارج میروند. [۲]

مقدار فلوی مغناطیسی با افزایش مقدار جریان و شدت میدان الکتریکی با افزایش مقدار ولتاژ زیاد می‌شود. بنابراین در ولتاژهای بالا (اطراف سیمهای برق فشار قوی) شدت میدان الکتریکی بیشتر است ولی در فرکانس بالا شدت میدان مغناطیسی بیشتر است. [۶]

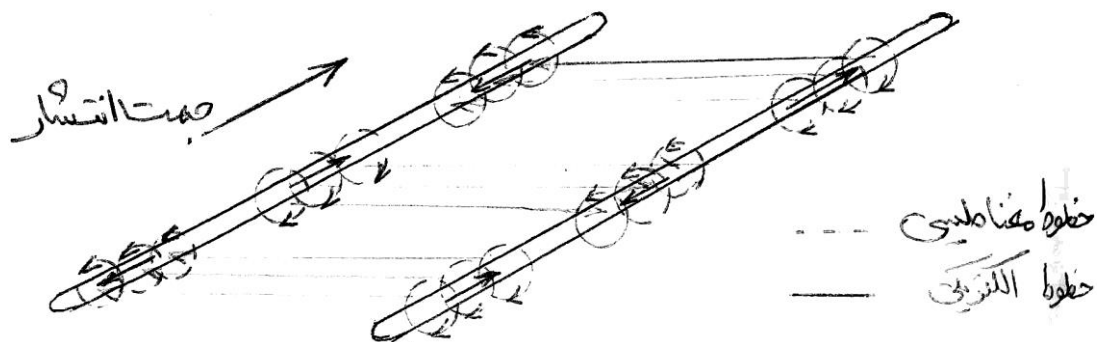


شکل ۲: میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در اطراف یک سیم

### امواج متحرک روی یک خط انتقال [۳]

راههای زیادی برای انتشار امواج وجود دارد. به هر حال قبل از ادامه مطلب، فهم کامل پدیده خط انتقال اساسی است زیرا بسیاری از مفاهیم بنیادی مانند ثابت انتشار در شکل‌های پیچیده‌تر از انتقال انرژی نمایان می‌شود.

به عنوان نقطه شروعی برای تعمیم مطالب، مسئله کلاسیک خط انتقال را به جای دیدگاه مداری از دیدگاه میدانی در نظر می‌گیریم. از نظریه مقدماتی میدان می‌دانیم همانطوری که در شکل ۳ نشان داده شده است، میدانهای الکتریکی و مغناطیسی در کنار ولتاژ و جریان خط میدانهای الکتریکی و مغناطیسی وجود دارند. همان طور که به ظاهر ولتاژ و جریان در امتداد خط و در جهت انتشار حرکت می‌کنند میدانهای همراه با آنها نیز، مانند سایه‌ای آنها را دنبال می‌کنند.



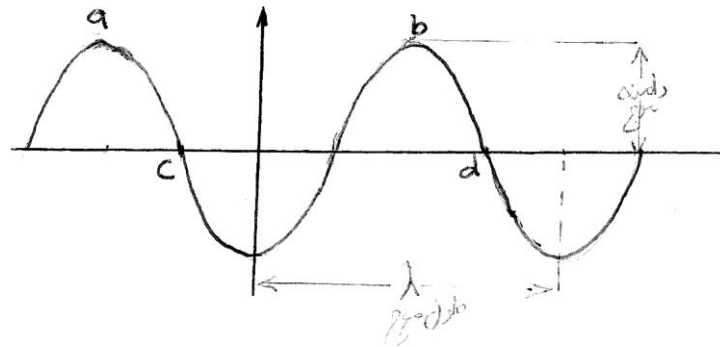
شکل ۳: امواج متحرک روی یک خط انتقال باز

از آنچه گذشت چون این موضوع صرفاً یک دیدگاه است می‌توان این طور فکر کرد که میدانهای ذکر شده جریانها را در سیم القاء می‌کنند و نه برعکس، بنابراین از این دیدگاه می‌بینیم که به ظاهر میدانهای الکتریکی و مغناطیسی باهم و با یک سرعت در فضا حرکت کرده و سیمها صرفاً کار «هدایت» موج را در جهت خاص انجام می‌دهند.



## امواج و فوتونها [1] WAVE AND PHOTONS

امواج - معمولاً پرتوهای الکترومغناطیسی را بصورت امواجی فرض می‌کنند که در فضا حرکت کرده و انرژی را با خود از نقطه‌ای به نقطه دیگر حمل می‌کنند (شکل ۴). این نوع موج را موج عرضی (Wave Transverse) گویند. زیرا امتداد نوسان موج بجهت حرکت آن عمود است.



شکل ۴: پارامترهای یک موج عرضی

یک موج عرضی دارای چهار پارامتر اصلی است این پارامترها عبارتند از:

1- طول موج (Wave Length): که آن عبارتند از فاصله یک نقطه با نقطه مشابه به راز

آن  $\lambda$

2- فرکانس (Frequency): عبارتند از تعداد امواج (سیکله‌ها) که در یک ثانیه تولید شده: واحد

HZ

3- سرعت (Velocity): مسافتی که امواج در یک ثانیه طی میکنند  $V$

4- دامنه (Amplitude): فاصله بین نقطه شروع تا مقدار حداکثر آن، آنرا قدرت موج نیز

توصیف می‌کنند.

طول موج، فرکانس و سرعت یک موج با یکدیگر ارتباط دارند. زیرا مسافتی را که امواج در مدت

یک ثانیه طی می‌کنند، برابر است با تعداد امواج در ثانیه (فرکانس) ضربدر طول موج یعنی

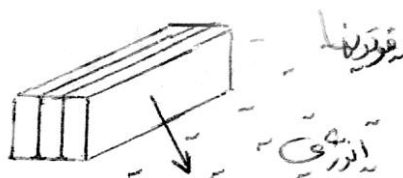
$$C = \lambda F \quad (1)$$

### فوتونها [۱] و [۴]

اگرچه با نظریه موجی بودن پرتونها الکترو مغناطیسی بعضی از پدیده‌های تشعشع را میتوان توضیح داد ولی کاربرد این فرضیه در بعضی موارد کاملاً رضایت بخش نیست. برای مثال: از فرضیه موجی بودن اینطور استنباط میشود که انرژی پرتوهای الکترو مغناطیس به صورت پیوسته و بدون انقطاع منتشر میشود. در حالی که ما می‌دانیم اینطور نیست و انرژی بصورت بارانی از ذرات کوچک و مستقل از هم بنام فوتون از جسم منتشر میشود (شکل ۵۹). هر فوتون دارای مقدار معینی انرژی است و اغلب یک فوتون را یک کوانتوم (quantum) انرژی گویند. (نظریه ذره‌ای و موجی بودن پرتوهای الکترو مغناطیسی). مقدار انرژی یک فوتون (E)، در نظریه ذره‌ای، با فرکانس پرتو (V)، از نظر موجی، توسط رابطه زیر بهم مربوط می‌شوند.

$$E=hf(2)$$

که در این رابطه h ضریب ثابت پلانک است.



شکل ۵: نظریه ذره‌ای بودن پرتوهای الکترومغناطیسی

### خواص عمومی پرتوهای الکترو مغناطیسی

1- همه آنها در فضا آزاد (خلاء) دارای سرعتی یکسان هستند.

$$3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

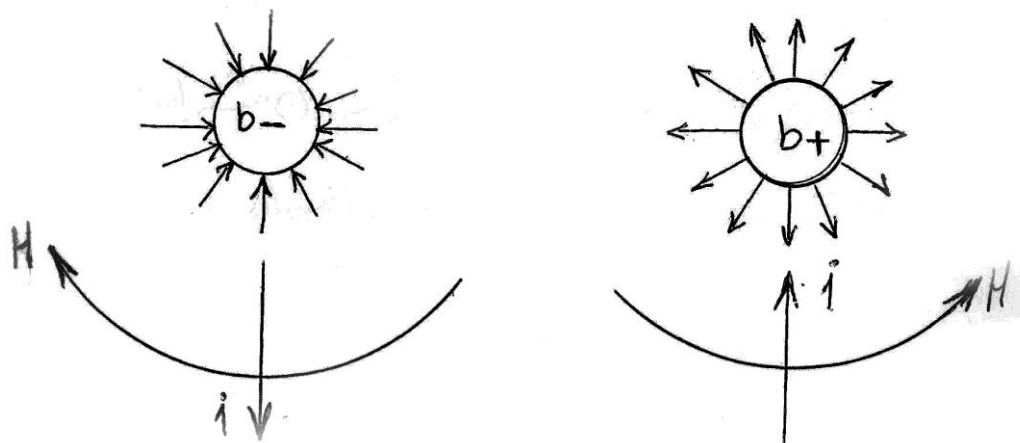
2- همه پرتوها، انرژی را به شکل کوانتا یا (فوتون) از نقطه‌ای به نقطه دیگر منتقل می‌کنند.

انرژی (E) یک فوتون بطریق زیر با فرکانس بستگی دارد.  $E=hf$

3- در فضای آزاد (خلاء) همه به خط مستقیم حرکت می کنند.

### میدانهای الکترومغناطیسی در فرکانس قدرت [۴] و [۱۲]

اگر در یک نقطه مقداری بار الکتریکی مثبت وجود داشته باشد خطوط نیروی میدان الکتریکی (E) حاصل بطور عمودی از آن خارج می شوند و بر عکس، و ضمناً میدانیم که هر گاه بار الکتریکی حرکت کند، جریان داریم که عبور جریان از سیم هادی در اطراف آن میدان مغناطیسی بوجود می آورد.



حال اگر در یک سیم جریان متناوب بفرستیم در اطراف آن یک میدان الکترومنیتیک (H) تشکیل می شود، که این دو میدان (E) و (H) عمود بر یکدیگر بوده و بردار انرژی را میسازد که با سرعت نور انتشار می یابد.

$$P = E.H.\sin 90$$

که در این حالت خاص

$$P = E.H.\sin 90 = E.H \Rightarrow P = E.H$$

می دانیم که میدان الکتریکی حاصل، مستقیماً با مقدار ولتاژ (بار الکتریکی) و عکس فاصله

مربوط است یعنی  $\vec{E} \approx \frac{V}{d}$  و میدان مغناطیسی حاصل، با مقدار جریان و عکس فاصله متناسب است و

یا  $\vec{H} \approx \frac{i}{d}$ ، واحد میدان الکتریکی V/m (ولت بر متر) و واحد میدان مغناطیسی A/m (آمپر بر متر)

است، لذا واحد دانسیته بردار انرژی (وات بر متر مربع) خواهد بود.

به موجب رابطه ماکس پلانک  $E=H.f$  که در آن  $h$  ثابت پلانک و  $f$  فرکانس و  $E$  انرژی است. میتوان نشان داد که هرچه فرکانس زیادتر باشد انرژی بیشتر است و لذا هرچه طول موج کوچکتر باشد قدرت نفوذ و تخریب آن بیشتر است، اما دانشمندان فرکانس 50 تا 60 هرتز را فرکانس قدرت نامیده‌اند. [۱]

## فصل دوم

### ثابت‌های خطوط انتقال [۵]

یک خط انتقال هوایی از یک گروه سیم تشکیل شده که بموازات یکدیگر روی دکلها کشیده شده اند و بنابراین هادیها نسبت بیکدیگر و بین هر هاری و زمین با هوا عایق میشوند. هادیها مقاومت معینی بسته به سطح مقطع و جنس آنها دارند و چون میدان مغناطیسی ناشی از عبور جریان در یک هادی هادیهای دیگر را قطع می‌کند (در برمیگیرد - یا تراوش میکند) هر سیم مقاومت القائی نیز دارد. بعلاوه بین جفت هادیها و بین هر هادی و زمین نیز ظرفیت الکتریکی موجود است. بالاخره عایق‌ها کامل نیستند و در نتیجه جریان نشتی بزمین خواهیم داشت این اثر را میتوان بصورت مقاومت نشتی که بین سیم و زمین قرار می‌گیرد در نظر گرفت. برای اینکه خط را بتوان بعنوان قسمتی از یک شبکه کامل قدرت قرار داد مقادیر فوق بایستی مشخص باشد و در این فصل محاسبه آنها را خواهیم دید.

### جنس هادی و ساختمان آن

معمولترین نوع هادی مورد استفاده در خطوط انتقال مس و آلومینیوم می‌باشد. آلومینیوم با هدایت خوب و وزن کم برای دهنه‌های بزرگ مناسب است. علیرغم اینکه ضریب انبساط بالا و مقاومت کششی کمی دارد.

مس یا آلومینیوم را باید برای دهنه (فاصله بین دو کابل) کوچک بکار برد و برای فشار قوی که دهنه خط بزرگ میشود هادیهای آلومینیوم با هسته فولادی مجهز می‌شوند تا استقامت آنها بالا رود.

### مقاومت خط

مقاومت اهمی یک هادی یکنواخت بطول  $L$  و سطح مقطع  $a$  چنین است.

$$R = \frac{PL}{a}$$

که P مقاومت مخصوص بستگی به جنس هادی و درجه حرارت آن دارد. که برای دو درجه

حرارت داریم.

$$f_1 = f_0 [1 + \alpha(\theta_1 - \theta_0)]$$

که  $\alpha$  ضریب حرارتی مقاومت هادی است و روابط زیر را داریم:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha_0 \theta_1) \quad R_2 = R_0(1 + \alpha_0 \theta_2)$$

$$R_0 = \frac{R_1}{1 + \alpha_0 \theta_1} \quad R_0 = \frac{R_2}{1 + \alpha_0 \theta_2}$$

$$R_2 = R_1 \frac{(1 + \alpha_1 \theta_1)}{(1 + \alpha_1 \theta_2)} = R_1 [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)]$$

و بهمین ترتیب میتوان دید:

$$1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1) = \frac{1 + \alpha_0 \theta_1}{1 + \alpha_0 \theta_2}$$

خواهیم داشت:

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0}{1 + \alpha_0 \theta_1}$$

در هنگام بکارگیری فرمول بالا لازم است توجه داشته باشیم که هادی ممکن است افشان باشد

بنابراین افزایش مقاومت در مقایسه با هادی یکپارچه با همان سطح مقطع در حدود ۱% یا ۲% خواهد بود.

افزایش بیشتر در مقاومت ممکن است ناشی از اثر پوسته باشد. وقتی از یک هادی جریان

مستقیم عبور میکند جریان بطور یکنواخت در تمام سطح مقطع توزیع می شود در حالی که اگر

جریان متناوب عبور کند میدان مغناطیسی متناوب در اطراف هادی تولید میشود که با نفوذ جریان به

مرکز هادی مخالفت میکند بطوریکه چگالی جریان در لایه های خارجی افزایش یافته و در نتیجه در

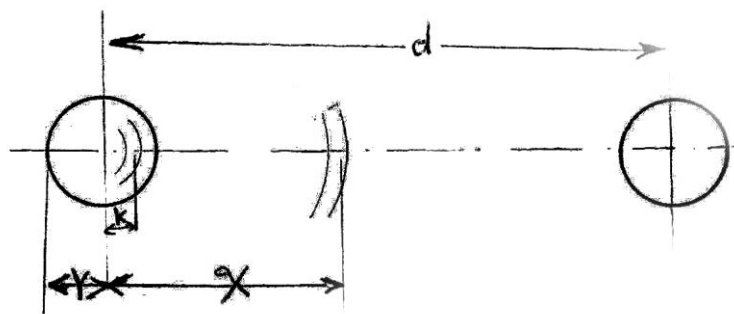
وسط سیم کاهش می یابد. چون افت توان متناسب با  $I^2$  است اثر پوسته (توجه شود اثر پوسته نتیجه

میدان مغناطیسی می باشد) باعث میشود که افت مس برای جریان معین افزایش یابد یعنی اثر آن

مثل اینست که مقاومت اهمی افزایش یابد. اثر پوسته با ضریب نفوذ و سطح مقطع هادی و فرکانس افزایش مییابد (چون میدان مغناطیسی نیز با افزایش آنها افزایش می یابد). بعلت وابستگی آن به سطح مقطع برای هادیهای افشان کمتر از هادی یکپارچه است. برای فرکانس ۵۰ HZ افزایش مقاومت برای هادیهای یکپارچه تا قطر ۱۰ mm قابل صرفنظر کردن است ولی هادی تا قطر ۲۵ mm حدود ۸٪ افزایش می یابد. اثر پوست برای آلومینیوم معادل مس است.

### ضریب القاء خط [۵] و [۷]

یک خط هوایی یکفاز را در شکل زیر در نظر می گیریم. فاصله dm بین هادیها در مقایسه با شعاعهای هادی بزرگتر است. جریان عبوری از هر هادی میدان مغناطیسی ایجاد میکند که خطوط قوای آنها دوایر متحدالمركز بوده که مراکز آنها بر مرکز هادی منطبق است و در صفحه عمود بر هادی قرار گرفته اند. بعضی از این خطوط قوا داخل هادی بوده و بقیه در خارج آن است اگر توزیع جریان داخل هادی یکنواخت فرض شود جریان داخل خط قوه ای به شعاع X متناسب با سطح بسه آنست بنابراین جریان آن  $\frac{IX^2}{r^2}$  خواهد بود. که I جریان کل به A می باشد.



شکل ۱- ضریب القاء خط هوایی

$$H_x = \frac{\text{جریا}}{2M_x \text{ فاصد}} = \frac{IX^2}{r^2} \cdot \frac{1}{2\pi X} X$$

$$\therefore B_x = \mu_0 H_x = \frac{\mu_0 I X}{2\pi r^2}$$

شار در پوسته استوانه‌ای با ضخامت شعاعی و طول محوری 1 متر عبارتست

$$\frac{\pi_0 I X}{2\pi r^2} \int_0^r \frac{X^2}{r^2} \cdot X \cdot d_x = \frac{\mu_0 I}{2\pi r^4} \int_0^r X^3 d_x$$

$$r=X \leftarrow \text{شاره کل تراوش داخل هادی} = \frac{\mu_0}{2\pi r^4} \int_0^r X^3 d_x = \frac{\mu_0}{8} \quad (2-1)$$

حال شار خارجی را در نظر می‌گیریم. تنها بخشی که هادی را دربرمیگیرد بین دو هادی میباشد

زیرا در فاصله X شدت میدان ناشی از یک هادی به تنهایی عبارتست از  $H_x = \frac{I}{2\pi}$ ,  $B_x = \frac{\mu_0}{2\pi X}$

چون شار گزینه گذرنده از پوسته استوانه‌ای به ضخامت dx و طول محوری 1m  $\frac{\mu_0 I}{2\pi X} \cdot dx$

$$(2-2) = \frac{\mu_0}{2\pi} \int_r^d \frac{dx}{X} = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \log_e \frac{d}{r}$$

(شار دربرگیرنده (شار خارجی)

شار کل دربرگیرنده هر هادی مجموع معادلات (2-1) و (2-2) است که عبارتست از:

$$\frac{\mu_0 I}{8\pi} + \frac{\pi_0 I}{2\pi} \cdot \log_e \frac{d}{r} = \frac{\pi_0 I}{4\pi} \left\{ \frac{1}{2} + 2 \log_e \frac{d}{r} \right\}$$

چون هر دو هادی در چنین شبکه‌ای یک مقدار جریان عبور میدهند مقدار شار دربرگیرنده کل

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}, \frac{\mu_0 I}{4\pi} + \left\{ 1 + 4 \log_e \frac{d}{r} \right\}$$

دو هادی عبارتست از:

$$L_1 = \text{ضریب القاء} \Rightarrow \therefore L = 10^{-7} (1 + 4 \log_e \frac{d}{r}) H / m$$

این عبارت برای فاصله زیاد خطوط به  $(4 \log_e \frac{d}{r}) \times 10^{-7}$  منجر میشود.

### خطوط سه فاز

اگر A و B و C هادیها و a و b و c فواصل آنها طبق شکل (2-2) باشند ابتدا هادی A را در

نظر میگیریم. یک متر طول هادی شار دربرگیرنده ناشی از جریان  $i_A$  خودش و  $i_B$  و  $i_C$  سایر هادیها را خواهد داشت.

$$\frac{\pi_0 i_A}{2\pi} \int_r^\infty \frac{d_x}{X}$$

شار تراوشی خارجی A ناشی از جریان  $i_A$  خواهد بود.



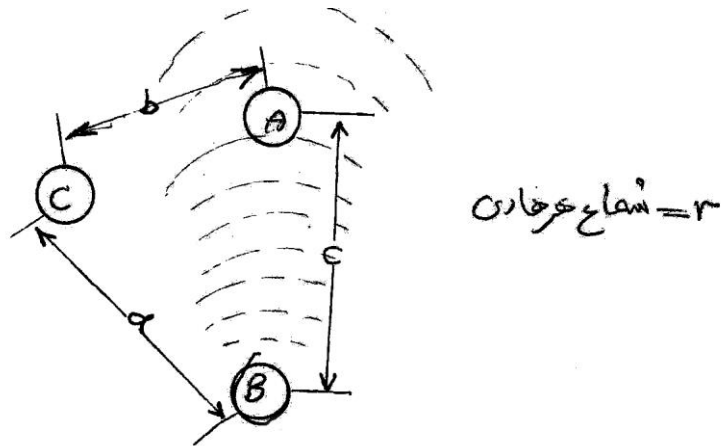
شار دربرگیرنده خارجی ناشی از A یعنی اثر متقابل القاء A روی B خواهد بود:  $\frac{\pi_0 i_B}{2\pi} \int_c^\infty \frac{d_X}{X}$

خط چین‌ها که خطوط قوای ناشی از جریان  $i_B$  را نشان می‌دهند. بخشی از شار ناشی از  $i_B$  بین

هادیهای A و B با A را دربرنمی‌گیرد.

بهمین ترتیب شار دربرگیرنده هر متر A ناشی از  $i_C$   $\frac{\pi_0 i_C}{2\pi} \int_b^\infty \frac{d_X}{X}$

ضریب القاء کل معادل A مجموع ضریب خود القاء و ضریب القاء متقابل دیگر هادیهاست



شکل (2-2) ضریب القاء خط سه فاز

بنابراین شار کل دربرگیرنده A چنین خواهد بود:

$$\frac{\pi_0}{4\pi} \left\{ i_A \left( \frac{1}{2} + \int_r^\infty \frac{d_X}{X} \right) + i_B \int_c^\infty \frac{d_X}{X} + i_C \int_b^\infty \frac{d_X}{X} \right\}$$

$$= \frac{\pi_0}{4\pi} \left\{ \left( \frac{1}{2} - 2 \log_e^r \right) i_A - i_B \log_e^c c - i_C \log_e^b b + (i_A + i_B + i_C) \cdot \log_e^\infty \right\}$$

در یک شبکه سه سیمه مجموع جریانهای لحظه‌ای در هر لحظه سفر است و تعبیر فیزیکی این

مطلب اینست که شار کلی که سه هادی را احاطه میکند صفر است بنابراین

$$2 \times 10^{-7} \left\{ \left( \frac{1}{2} - \log_e^r \right) i_A - i_B \log c - i_C \log c^b \right\}$$

$$A = L_A = \frac{\text{ضریب القاء سیم}}{i_A}$$

ضرایب القاء  $L_B$  و  $L_C$  دو سیم دیگر را میتوان با همین روش بدست آورد. ولتاژهای القایی هر متر طول هادی عبارتست از  $E_A = jWL_A I_A, E_B = jWL_B I_B, E_C = jWL_C I_C$  اگر جریانها متغییر باشند این ولتاژها لحظه به لحظه تغییر میکنند. اگر سینوسی باشند آنها از فاز به فاز فرق دارند جز اینکه جریانهای متعادل بوده و فواصل  $a$  و  $b$  و  $C$  مساوی باشند.

### هادیها متساوی الفاصله

اگر سه هادی در سه راس مثلث متساوی اضلاع قرار گرفته باشند:

$$a=b=c=d$$

$$A = 2 \times 10^{-7} \left\{ \left( \frac{1}{2} = \log_e^r \right) i_A - i_B \cdot \log_e^d - i_C \cdot \log_e^d \right\}, \begin{cases} i_A + i_B + I_C = 0 \\ i_A = -i_B - i_C \end{cases}$$

سیم

$$2 \times 10^{-7} \left\{ \frac{1}{2} = i_A - i_A \cdot \log_e^r + (-i_B - i_C) \log_e^d \right\}$$

$$2 \times 10^{-7} i_A \left( \frac{1}{2} + \log_e \frac{d}{r} \right)$$

$$A = L_A = 2 \times 10^{-7} \left( \frac{1}{2} + \log_e \frac{d}{r} \right) H / m$$

میتوان دید که عبارت ضریب القاء دو سیم دیگر  $L_B$  و  $L_C$  نیز مساوی  $L_A$  است.

مساوی کردن افت ولتاژ القایی بوسیله پیچیدن خط

چنانکه دیدیم اگر سه هادی در سه راس مثلث متساوی الاضلاع باشند ضرایب القاء و در نتیجه

افت ولتاژ القایی هر فاز مساوی است. این شکل ساختمان در عمل مشکل است.

$$L_A = 2 \times 10^{-7} \left( \frac{1}{2} + \log_e \frac{\sqrt[3]{abc}}{r} \right) H / m$$

و ضریب القاء متوسط برای فاز  $A$  برابر است با

مقدار متوسط ضرایب القاء  $L_B$  و  $L_C$  برای دو فاز دیگر مساوی مقدار بالا است. این عبارت را با عبارت بدست آمده حالت مساوی بودن فواصل مقایسه کنیم دیده میشود که اگر  $\sqrt[3]{abc} = d$  باشد معادلند با این دلیل  $\sqrt[3]{abc}$  را فاصله متوسط هندسی گویند.

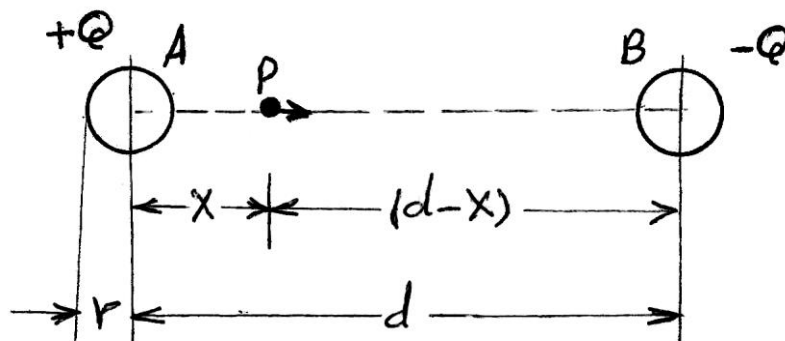
چنانچه دیدیم با جابجا کردن هادیها در طول خط باین معنی که هر فاز در طول خط سه وضعیت ممکن را بخود بگیرد، باعث میشود که افت ولتاژ القائی در طول خط متعادل شود.

$$L_A = 2 \times 10^{-7} \left( \frac{1}{2} + \log_e \frac{\sqrt[3]{abc}}{r} \right) H/m$$

$$\sqrt[3]{abc} = d \Rightarrow L_A = 2 \times 10^{-7} \left( \frac{1}{2} + \log_e \frac{d}{r} \right) H/m$$

### ظرفیت خط [۵] و [۷]

ابتدا خط یکفازی با دو هادی موازی شکل 3 را در نظر میگیریم اگر فاصله بین آنها در مقایسه با قطر هادی بزرگتر باشد چگالی بار سطحی هر هادی عملاً بر بار هادی همسایه تأثیری نخواهد گذاشت بطوریکه بار بصورت متمرکز روی محور هادی عمل خواهد کرد.



شکل ۳: ظرفیت خط هوایی

اگر بارهای  $+Q \text{ F/m}$  A و بارهای  $-Q \text{ F/m}$  B باشد شدت میدان الکتریکی هر نقطه P ناشی از A در جهت پیکان عبارتست از  
و شدت میدان الکتریکی در نقطه P ناشی از B در همان جهت

$$E_A = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 X} \quad E_B = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 (d - X)}$$

$$E_x = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 X} + \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 (d - X)}$$

$$= \frac{Q}{2\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{1}{X} + \frac{1}{(d - X)} \right\}$$

اختلاف پتانسیل بین هادیها معادل کار انجام شده نظیر حرکت یک کولمب بار از یک هادی به هادی دیگر بر علیه نیروهای الکتریکی است. اگر یک کولمب فاصله  $dx$  را طی کند کار انجام شده  $E \cdot dx$

$$\text{اختلاف پتانسیل} = \int_r^{d-r} E \cdot dx = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0} \int_r^{d-r} \left\{ \frac{1}{X} + \frac{1}{d - X} \right\} \cdot dx$$

$$= \frac{Q}{\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{(d - r)}{r}$$

ولی ظرفیت  $C = Q/V$  که اگر  $Q$  به  $C/m$  باشد  $C$  بر حسب  $F/m$  است.

$$\therefore C = \frac{\mu\epsilon_0}{\log_e} \frac{(d - r)}{r}$$

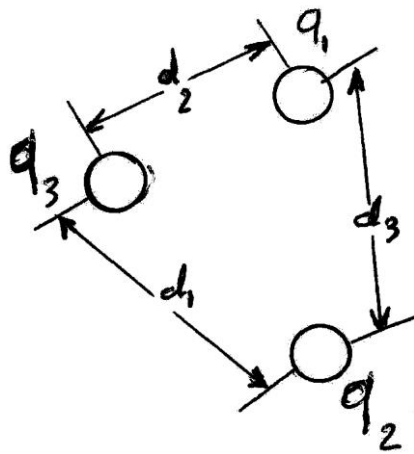
اگر  $r$  در مقایسه با  $d$  کوچک باشد

$$C \approx \frac{\pi\epsilon_0}{\log_e} \frac{d}{r}$$

ظرفیت خط سه فاز

طبق شکل 4 هادیهای 1 و 2 و 3 سیستم سه فاز را در نظر میگیریم و شعاع هر هادی  $r$  و فاصل

بین آنها بترتیب  $d_1$  و  $d_2$  و  $d_3$  است. اگر بار هادیها بترتیب  $q_1$  و  $q_2$  و  $q_3$  باشد در شبکه سه سیمه  $\sum q_i = 0$  است.



شکل ۴: ظرفیت خطوط سه فاز

پتانسیل ناشی از  $q_1$  + پتانسیل ناشی از  $q_2$  + پتانسیل ناشی از  $q_3$  = پتانسیل کل

$$\text{پتانسیل کل} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{d}{2} + \frac{q_2}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{d}{d_1} + \frac{q_3}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{d}{d_3}$$

و  $d$  فاصله گروه هادیها از نقطه بی نهایت دوری است که پتانسیل نسبت به آن سنجیده

می شود. یا

$$V_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \{ (q_1 + q_2 + q_3) \cdot \log_e^d - q_1 \log_e^r - q_2 \cdot \log_e d_1 - q_3 \cdot \log_e^{d_3} \}$$

$$q_3 = -q_1 - q_2$$

$$\therefore V_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \{ q_1 (-\log_e^r + \log_e^{d_3}) + q_2 (-\log_e^{d_1} + \log_e^{d_2}) \}$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_1 \log_e \frac{d_3}{r} + q_2 \log_e \frac{d_2}{d_1} \right\}$$

پتانسیل سیم ۲:  $V_2$  نیز به همین ترتیب بدست می آید.

$$V_2 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_2 \log_e \frac{d_2}{r} + q_1 \log_e \frac{d_3}{d_1} \right\}$$

اگر شبکه با ولتاژهای سه فاز متعادل تغذیه شود مقدار  $V_2$  با  $V_1$  مساوی است ولی

باندازه  $120^\circ$  در جهت ساعت اختلاف فاز دارد.

$$V_2 = V_1 \left( -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = h^2 V_1$$

که  $h^2$  پراتوری (عمل کننده) است که چرخش  $120^\circ$  در جهت مثلثاتی را نشان میدهد و  $h^2$  چرخش  $240^\circ$  درجه در همان جهت یا  $120^\circ$  در جهت ساعت را نشان میدهد.

$$\therefore h^2 V_1 = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left\{ q_2 \log_e \frac{d_2}{r} + q_1 \log_e \frac{d_3}{d_1} \right\}$$

معادلات ۱ و ۲ را میتوان برای حذف  $q_2$  حل کرد.

$$q_1 = \frac{2\pi\epsilon_0 V_1 \left( h^2 \cdot \log_e \frac{d_3}{d_1} - \log_e \frac{d_2}{r} \right)}{\log_e \frac{d_3}{d_1} \cdot \log_e \frac{d_3}{d_1} - \log_e \frac{d_3}{r} \cdot \log_e \frac{d_3}{r}}$$

$$C_1 = \frac{q_1}{V_1}$$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0 \left( h^2 \cdot \log_e \frac{d_3}{d_1} - \log_e \frac{d_2}{r} \right)}{\log_e \frac{d_3}{d_1} \cdot \log_e \frac{d_3}{d_1} - \log_e \frac{d_3}{r} \cdot \log_e \frac{d_3}{r}}$$

عبارات متناظری برای  $C_2$  و  $C_3$  بدست میآید ولی در حالت کلی  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_3$  معادل نیستند.

حالت اول: فواصل مساوی هادیها  $d_1=d_2=d_3$

$$C_1 = \frac{2\pi\epsilon_0 \cdot \log_e \frac{d_e}{2}}{\log_e \frac{d_e}{r} \cdot \log_e \frac{d_e}{r}} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log_e \frac{d_e}{r}} F/m$$

$C_2$  و  $C_3$  دو فاز دیگر نیز مساوی همین درمیآید.

حالت دوم: پیچیدن (جابجا کردن) خطوط:

سه معادله برای پتانسیل سیم 1 برای سه حالت خط پیچیده شده نوشته می شود و مقدار متوسط آنها را در نظر میگیریم:

$$V_{11} = \text{ولتاژ سیم 1}$$

$$= \frac{1}{3}(V_{11} + V_{12} + V_{13})V_1$$

$$= -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \{ (q_1 \log_e^r + q_2 \log_e d_1 + q_3 \log_e d_1) + \\ (q_1 + \log_e^r + q_2 \log_e d_2 + q_3 \log_e d_1) + \\ (q_1 + \log_e^r + q_2 \log_e d_3 + q_3 \log_e d_2) \}$$

با قراردادن  $-q_2 - q_3 = q_1$  و ترکیب جملات یکسان

$$V_1 = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{\sqrt[3]{d_1 d_2 d_3}}{r} = \frac{q_1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \log_e \frac{de}{r}$$

مقدار متوسط ظرفیت فار در هر متر

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log_e r} \frac{de}{F/m}$$

مقادیر معمولی ضریب القاء و ظرفیت خط

بک خط فشار ضعیف را با چند هادی در نظر میگیریم قطر هادی ۲۵mm و فاصله بین آنها

۰/۶۷ که حداقل ممکن در عمل است.  $\frac{d}{r} = \frac{670}{12/5} = 53/5$  و  $\log \frac{d}{r} = 3/98$  و

$$L = 3/96 \times 10^{-4} M/km$$

$$C = 1/4 \times 10^{-8} F/km$$

حال اگر فاصله هادیها را ۴m و قطر هادی را ۲۰mm در نظر بگیرید  
 $L = 8/2 \times 10^{-4}$   
 $C = 1/5 \times 10^{-8} Fm$

دیده می شود که علیرغم فاصله زیاد هادیها ضریب القاء و ظرفیت در دو حالت تقریباً یکی است و

حاصل ضرب نیز در دو حالت یکی است. نتیجه: در حقیقت ضرایب خط برای خطوط هوایی با هر فاصله

و قطری تقریباً یکی است.  $LC = 1/225 \times 10^{-11}$

## فصل سوم

### محاسبات پارامترهای انتقال و کابلها قدرت به روش اجزاء محدود

#### چکیده

در این فصل روشی برای آنالیز میدان الکترو مغناطیسی و محاسبات پارامترهای الکتریکی خطوط و کابلهای قدرت از قبیل اندوکتانس خودی و متقابل ارائه شده است. با استفاده از روش اجزاء محدود و با حل معادله میدان مغناطیسی اندوکتانسها و مقاومتها و با حل میدان الکتریکی خازنهای و کاندوکتانسها محاسبه می شوند. اثر زمین و شکل پیچیده هندسی سیستم در اطراف خطوط انتقال و کابلهای قدرت در این روش در نظر گرفته شده است.

مقایسه نتایج محاسبات با نتایج تحلیلی دارای توافق قابل قبول می باشد بنابراین بیان کننده توانایی روش کاربرد عمومی آن در خطوط و کابلهای قدرت میباشد. ولتاژها و جریانها، در حالت دائمی سینوسی فرض شده و محاسبات آن در حوزه فرکانس انجام می گیرد. مزیت روش فوق دقت بیشتر و محاسبه پارامترهای کابلها و خطوطی است که در روشهای دیگر یا از آن صرف نظر می شده و یا به صورت تقریبی محاسبه شده است.



### ۱- مدل ریاضی [۸]

در بررسی میدان الکترومغناطیسی خطوط و کابلها فرضیات اساسی زیر در نظر گرفته می‌شود.

1) هادیها دارای طول نامحدود می‌باشند به طوری که مسئله را دو بعدی فرض نمود.

2) مواد دارا پرمابیلیته، ضریب هدایت الکتریکی و پرمیتوتیه ثابت هستند.

3) جریانها و ولتاژهای هادیها در حالت دائمی سینوسی و متعادل فرض می‌شوند.

در این روش برای محاسبه پارامترهای خطوط از روابط انرژی ذخیره شده و توان تلف شده در

سیستم استفاده گردیده است.

### 2- معادلات میدانها [۸] و [۹]

طبق فرضیات اساسی معادلات دیفرانسیل حاکم بر میدان مغناطیسی در حالت دائمی سینوسی

باصرفنظر کردن از جریانهای جابجایی و بارها در معادلات ماکسول به صورت زیر بدست می‌آید. [۲]

$$\nabla^2 A + j\omega 6A - j_s = 0 \quad (1)$$

$$-j\omega 6A + J_s = j \quad (2)$$

با استفاده از روش اجزاء محدود معادلات (۱) و (۲) به دستگاه معادلات جبری زیر تبدیل

می‌شوند.

$$\begin{bmatrix} VS + j\omega 6T & -j\omega 6Q \\ -j\omega 6Q^T & J\omega 6W \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

در دستگاه ماتریسی فوق A یک بردار ستونی شامل پتانسیل گره‌ها  $A_I$  برده و بردار G با بردار

$$\text{چگالی جریانهای منبع به صورت } G = \frac{1}{j\omega 6} j_s \text{ مربوط می‌باشد.}$$

همچنین بردار I جریانهای مؤثر فاز عبوری از هادیها بوده و المانهای ماتریسهای اجزاء محدود

S, T, Q, W در مسائل جریانهای گردابی آورده شده است.

شرایط مرزی معادله دیفرانسیل (۱) از نوع دیرشله بوده که در حل معادلات از آن استفاده شده است. با استفاده از معادله پیوستگی می توان معادله حاکم بر میدان الکتریکی را به دست آورد.

$$\nabla \cdot D = p \quad (۳) \quad \text{و} \quad \nabla \cdot j = \frac{\partial p}{\partial t} \quad (۴)$$

از معادلات (۳) و (۴) در حالت دائمی سینوسی می توان به معادله لاپلاس مختلط زیر رسید:

$$\nabla \cdot (6 + jw\epsilon \nabla V) = 0$$

که در آن  $V$  پتانسیل الکتریکی می باشد. با اعمال شرایط مرزی مناسب می توان پتانسیل الکتریکی  $V$  را محاسبه نمود.

### ۳- انرژی و تلفات [۸] و [۱۰]

در حالیکه میدانهای الکتریکی و مغناطیسی با استفاده از قسمت فصل ۲ حل می گردند با استفاده از روابط انرژی میدانها می توان ماتریس هادی اندوکتانس  $[L]$  و خازن  $[G]$  را با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود.

$$U_m = \frac{1}{2} \phi^T [4]^{-1} \phi = \frac{1}{2} \int_s \frac{1}{\mu} |B|^2 ds \quad \text{انرژی در میدان مغناطیسی}$$

$$U_e = \frac{1}{2} V^T [C] V = \frac{1}{2} \int_s \epsilon |E|^2 ds \quad \text{انرژی در میدان الکتریکی}$$

که در آن  $V$  بردار ولتاژ مختلف و  $\phi$  بردار شار مغناطیسی مختلط می باشد.

بنابراین تمام المانهای ماتریسهای مربعی  $[L]$  و  $[C]$  محاسبه می شوند. همچنین با استفاده از

روابط تلفات سیستم می تواند  $[R]$  و  $[G]$  را با استفاده از روابط زیر محاسبه نمود.

$$P_m = \frac{1}{2} I^T R I = \int_s \frac{j \cdot j^*}{6} ds$$

$$P_e = \frac{1}{2} V^T G V = \int_s 6 E E^* ds$$

که در آن  $I$  بردار جریانهای مختلط و  $V$  بردار ولتاژهای مختلط می باشد. بنابراین تمام المانهای

ماتریسهای مربعی مقاومت  $[R]$  و کندوکتانس  $[G]$  محاسبه می شوند.

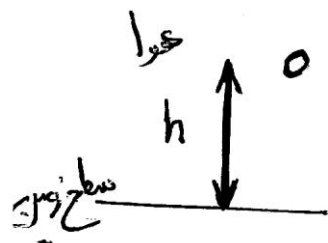
#### ۴- نتایج

مثال ۱: خط تک فاز برای مقایسه روش فوق با روش تحلیلی از یک خط بالای سطح زمین استفاده می‌کنیم. مشخصات فیزیکی تو هندسی هادی به شرح زیر است.

$$O_c = 3.86 \times 10^7 \text{ s/m}, \mu_{rc} = 1, \epsilon_r = 1$$

ارتفاع هادی از سطح زمین  $h=6\text{m}$

شعاع هادی  $a=0.025$



شکل ۱: خط تک فاز

در جدول زیر پاسخ روش اجزاء محدود و روش تحلیلی [11] مقایسه شده‌اند.

جدول ۱: مقایسه روشهای تحلیلی و FEM

	L( $\mu\text{H/m}$ )	C(PF/m)
روش تحلیلی	1.09	9
روش FEM	1.05	9.02

مثال ۲: در این مسئله سه باس بار حاصل جریانهای سه فاز سینوسی هستند (شکل ۲)

همچنین یک شیلد هادی اطراف آنها را احاطه کرده است و از آن جریانی نمی‌گذرد.

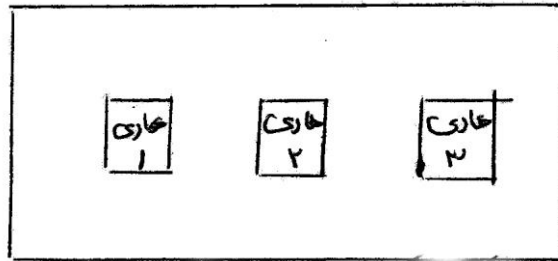
ضریب هدایت الکتریکی  $6 = 2.87 \times 10^6 / \Omega m$  و پرماییلیته آن برابر  $\mu - \mu_0$ .

جریانهای عبوری از هادیها برابرند با:

$$I_1 = 1000\sin(377t)$$

$$I_2 = 1000\sin(377t - \frac{2\pi}{3})$$

$$I_3 = 1000\sin(377t + \frac{2\pi}{3})$$

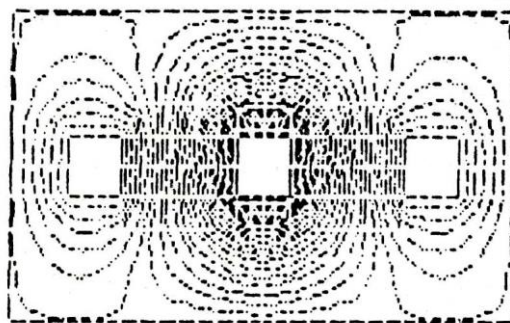


شکل ۲: یک باس سه فاز

خطوط شار در لحظه‌ای که جریانها برابر با  $I_3 = -500A, I_2 = 1000A, I_1 = 500A$  می‌باشند در

شکل ۳ رسم شده‌اند.

مقادری اندوکتانس‌ها و مقاومت‌های هادیها بدست آمده به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۳: خطوط هم پتانسیل مغناطیسی در لحظه  $\omega t = 210^\circ$

$$L_{22} = 2.38(\mu H / m)$$

$$L_{11} = 2.24(\mu H / m)$$

$$L_{33} = 2.248(\mu H / m)$$

$$L_{12} = L_{21} = 58.3(nH / m)$$

$$L_{31} = L_{13} = 14.23(nH / m)$$

$$L_{23} = L_{32} = 58.3(nH / m)$$

$$R_{22} = 1.17(\mu\Omega / m)$$

$$R_{11} = 1.30(\mu\Omega / m)$$

$$R_{33} = 1.17(\mu\Omega / m)$$

$$R_{12} = R_{21} = 14.98(n\Omega / m)$$

$$R_{13} = R_{31} = 0.01(n\Omega / m)$$

$$R_{123} = R_{32} = 14.98(n\Omega / m)$$

نتیجه گیری

در این فصل یک مدل ریاضی براساس اجزاء محدود برای محاسبه پارامترهای خطوط انتقال و کابلهای قدرت بر واحد طول بنا گذاشته شده است.

پارامترهای فوق با استفاده از انرژی ذخیره شده و توان تلف شده در هریک از هادیها محاسبه شده است. میدانهای مغناطیسی و الکتریکی در حالت دائمی سینوسی مطرح شده و جوابهای خطوط میدان در هر لحظه زمانی قابل مشاهده میباشند. نتایج فوق نشان دهنده قابلیت بکارگیری روش اجزاء محدود در حل معادلات میدان مغناطیسی و الکتریکی با شکلهای پیچیده منابع ورودی مختلف و در رنج فرکانسی گسترده می باشد.

## فصل چهارم

### تداخل با شبکه‌های مخابراتی

اغلب در عمل یک خط انتقال ممکن است در مجاورت یک خط تلفن قرار داشته و ممکن است در شرایطی خط انتقال با شبکه مخابراتی تداخل حاصل نماید. این تداخل ممکن است ناشی از القاء الکترو مغناطیسی یا الکترواستاتیکی باشد. القاء الکترو مغناطیسی جریانی تولید می‌کند که سوار جریانه‌های صوتی شده آنرا معوج میکند، القاء الکترواستاتیکی پتانسیل مدار مخابراتی را بالا می‌برد و برای فرستنده و گیرنده خطرناک است. در اغلب حالات این افزایش پتانسیل بالاتر از پتانسیل زمین ممکن باندازه‌ای زیاد باشد بطوریکه جابجا کردن گیرنده تلفن خطرناک شده و در چنین شرایطی باید احتیاجات لازم را معمول داشت. میزان این اثر بستگی به فاصله بین دو مدار و فاصل مسیری که در این دو شبکه بموازات هم کشیده شده‌اند دارد.

در خط تلفن معمولی ممکن است این فاصله کوتاه باشد ولی اگر مدار مخابراتی مخصوص شرکت انتقال نیرو باشد برای دو مدار قدرت و مخابرات میتوان از دکلهای واحدی استفاده کرد. چون مدار تلفن معمولی با اعوجاج بررسی میشود و افزایش ولتاژ مجاز لازم توسط G.P.O محدود شده است که اگر از این حدود تجاوز شود در منبع قدرت باید اصلاحاتی صورت گیرد. وقتی شبکه بهم پیوسته مخابراتی در اختیار شبکه قدرت قرار می‌گیرد این شبکه می‌تواند مانند مخابره برای علامت دادن و حفاظت نیز بکار رود و دقت باید کرد که هیچکدام از این وسایل با شبکه قدرت تداخل حاصل نکنند.

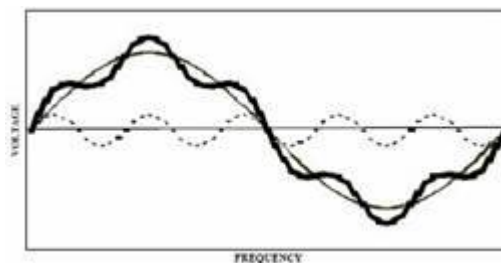
نقش خازنها به عنوان المان های الکتریکی و الکترونیکی کارآمد در صنایع مربوط به تولید و انتقال و توضیح امروزی غیر قابل انکار است بگونه ای که دیگر هرگز نمی توان چنین صنایعی را بدون وجود خازنهای نیرو متصور شد. از این رو شناخت کامل خازنها و عوامل تاثیر گذار بر آنها و حفظ و

نگهداری و نظارت دقیق بر آنها، برای افزایش طول عمر خازن ها و کار کرد بهینه آنها امری است الزامی و اجتناب ناپذیر.

درسالهای اولیه هارمونیکها در صنایع چندان رایج نبودند.به خاطر مصرف کننده های خطی متعادل. مانند : موتورهای القایی سه فاز،گرم کنندهها و روشن کننده های ملتهب شونده تا درجه سفیدی و ..... این بارهای خطی جریان سینوسی ای در فرکانسی برابر با فرکانس ولتاژ می کشند. بنابراین با این تجهیزات اداره کل سیستم نسبتا با سلامتی بیشتری همراه بود. ولی پیشرفت سریع در الکترونیک صنعتی در کاربری صنعتی سبب بوجود آمدن بارهای غیر خطی صنعتی شد. در ساده ترین حالت ، بارهای غیرخطی شکل موج بار غیر سینوسی از شکل موج ولتاژ سینوسی رسم می کنند (شکل موج جریان غیر سینوسی).

پدیدآورنده های اصلی بارهای غیر خطی درایوهای AC / DC ، نرم راه اندازها ، یکسوسازهای ۱۲ / ۶ فاز و ... می باشند. بارهای غیرخطی شکل موج جریان را تخریب می کنند. در عوض این شکل موج جریان شکل موج ولتاژ را تخریب می نماید. بنابراین سامانه به سمت تخریب شکل موج در هر دوی ولتاژ و جریان می شود. در این مقاله سعی شده است تا بزبانی هرچه ساده تر توضیحی در مورد نحوه عملکرد هارمونیک ها و راه کاری برای دوری از تاثیر گذاری آنها بر خازنهای نیرو ارائه شود.

### اساس هارمونیک ها :



اصولا هارمونیک ها آلوده سازی شکل موج را در اشکال سینوسی آنها نشان می دهند. ولی فقط در مضارب فرکانس اصلی . تخریب شکل موج را می توان در فرکانس های مختلف (مضارب فرکانس

اصلی) بعنوان یک نوسان دوره ای بوسیله آنالیز فوری تجزیه و تحلیل کرد. در حال حاضر هارمونیکهای فرد و زوج و مرتبه ۳ در اندازه های مختلف ضرایب فرکانس های مختلف در سامانه های الکتریکی موجودند که مستقیماً تجهیزات سامانه الکتریکی را متاثر می سازند. در معنایی وسیعتر هارمونیکهای زوج و مرتبه ۳ هریک تلاش می کنند که دیگری را خنثی نمایند. ولی در مدت زمانی که بار نامتعادل است این هارمونیک های زوج و مرتبه ۳ منجر به اضافه بار در نول و اتلاف انرژی شدید می شوند. با تمام احوال هارمونیک های فرد اول مانند هارمونیک پنجم ، هفتم ، یازدهم ، سیزدهم و .... عملکرد این تجهیزات الکتریکی را تحت تاثیر قرار می دهند. برای فهم بهتر تاثیر هارمونیک ها ، شکل زیر تاثیر تخریب هارمونیک پنجم بر شکل موج سینوسی را نشان می دهد :

هارمونیک های ولتاژ و جریان تاثیرات متفاوتی بر تجهیزات الکتریکی دارند. ولی عموماً بیشتر تجهیزات الکتریکی به هارمونیکهای ولتاژ بسیار حساس اند. تجهیزات اصلی نیرو مانند موتورها، خازن ها و غیره بوسیله هارمونیکهای ولتاژ متاثر می شوند. به طور عمده هارمونیکهای جریان موجب تداخل مغناطیسی (Magnetic Interference) و همچنین موجب افزایش اتلاف در شبکه های توزیع می شوند. هارمونیکهای جریان وابسته به بار اند ، در حالی که سطح هارمونیکهای ولتاژ به پایداری سامانه تغذیه و هارمونیکهای بار (هارمونیکهای جریان) بستگی دارد. عموماً هارمونیک های ولتاژ از هارمونیک های جریان کمتر خواهند بود.

تشدید:

اساساً تشدید سلفی - خازنی در همه انواع بارها مشاهده می شود. ولی اگر هارمونیک ها در شبکه توزیع شایع نباشند تاثیر تشدید فرونشانده می شود.

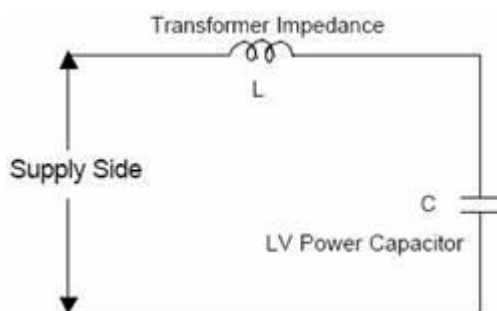


در هر ترکیب سلفی - خازنی چه در حالت سری و چه در حالت موازی ، در فرکانسی خاص تشدید رخ می دهد که این فرکانس خاص فرکانس تشدید نامیده می شود. فرکانس تشدید فرکانسی است که در آن رآکتانس خازنی ( $X_C$ ) و رآکتانس القایی ( $X_L$ ) برابر هستند.

برای ترکیبی مثالی برای بار صنعتی که شامل اندوکتانس بار و یا رآکتانس ترانسفورماتور که بعنوان  $X_L$  عمل می کند و رآکتانس خازن تصحیح ضریب توان که بصورت  $X_C$  خودنمایی می کند فرکانس تشدید برابر با  $LC$  خواهیم داشت . رآکتانس خازنی متناسب با فرکانس کاهش می یابد (توجه :  $X_C$  با فرکانس نسبت عکس دارد). در حای که رآکتانس القایی متناسب با آن افزایش می یابد (توجه

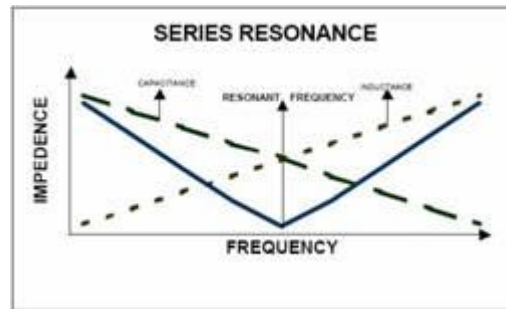
$X_L$ : با فرکانس نسبت مستقیم دارد). این فرکانس تشدید به سبب متغیر بودن الگوی بار متغیر خواهد بود. این مساله برای ظرفیت خازنی ثابت کل برای اصلاح ضریب توان پیچیده تر است. برای درک صحیح این پدیده لازم است دو نوع وضعیت تشدید شامل حالت تشدید سری و حالت تشدید موازی مورد توجه قرار گیرند. این دو امکان در زیر توضیح داده می شوند.

تشدید سری:



یک ترکیب سری رآکتانس سلفی - خازنی ، مدار تشدید سری شکل می دهد که در شکل زیر

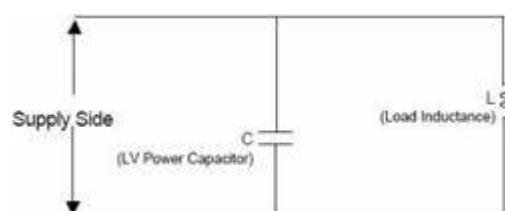
نشان داده شده است.



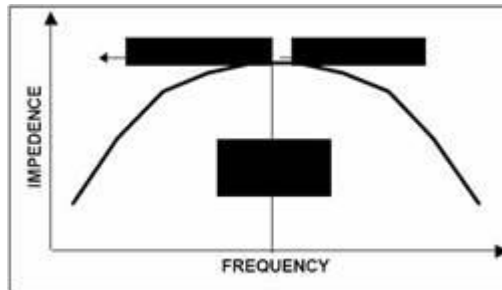
به خاطر ترکیب سری سلف و خازن ، در فرکانس تشدید امپدانس کل به پایین ترین سطح کاهش می یابد و این امپدانس در فرکانس تشدید طبیعی مقاومتی دارد. بنا براین در فرکانس تشدید رآکتانس خازنی و رآکتانس سلفی (القایی) برابر هستند. این امپدانس پایین برای توان ورودی در فرکانس تشدید ، افزایش توانی جریان را نتیجه می دهد. شکل داده شده زیر رفتار امپدانس خالص در وضعیت تشدید سری را نشان می دهد.

در کاربری صنعتی رآکتانس ترانسفورماتور قدرت به علاوه خازنهای اصلاح ضریب توان در سمت ولتاژ پایین به عنوان یک مدار تشدید موازی برای سمت ولتاژ بالای ترانسفورماتور عمل می کند. اگر این فرکانس تشدید ترکیب سلف و خازن بر فرکانس هارمونیک شایع در صنعت منطبق شود ، بخاطر بستری با امپدانس پایین ارائه شده توسط خازن ها برای هارمونیک ها ، منجر به افزایش توانی جریان خازن ها خواهد شد. از این رو خازن های ولتاژ پایین در سطحی بسیار بالا اضافه بار پیدا خواهند کرد که همچنین این عمل موجب تحمیل بار اضافی بر ترانسفورماتور می شود. این پدیده منجر به تخریب ولتاژ در شبکه ولتاژ پایین می شود.

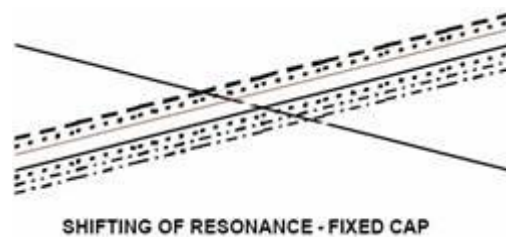
تشدید موازی:



یک تشدید موازی ترکیبی از رآکتانس خازنی و القایی است که در شکل زیر نمایش داده شده است.



در اینجا رفتار امپدانس برعکس حالت تشدید موازی خواهد بود که در شکل داده شده در زیر ، نشان داده شده است. در فرکانس تشدید امپدانس منتهی مدار به مقداری بالا افزایش می یابد. این ، منجر به بوجود آمدن مدار تشدید موازی میان خازن های اصلاح ضریب توان و اندوکتانس بار می شود که نتیجه آن عبور ولتاژ بسیار بالا هم اندازه امپدانس ها و جریان های گردابی بسیار بالا درون حلقه خواهد بود.



در کاربری صنعتی خازن اصلاح ضریب توان مدار تشدید موازی با اندوکتانس بار تشکیل می دهد. هارمونیک های تولید شده از سمت بار رآکتانس شبکه را افزایش می دهند. که موجب بلوکه

شدن هارمونیک های سمت تغذیه می شود. این منجر به تشدید موازی اندوکتانس بار و اندوکتانس خازنی می شود. مدار LC (سلفی - خازنی) موازی، شروع به تشدید میان آنها می کند که منجر به ولتاژ بسیار بالا و جریان گردابی بسیار بالا در درون حلقه مدار سلف - خازن (LC) می شود. نتیجه این امر آسیب به تمام سمت ولتاژ پایین سامانه الکتریکی است.

ایزوله کردن تشدید موازی از ایزولاسیون تشدید سری نسبتاً پیچیده تر است. اساساً این امر بخاطر تنوع بار صنعتی از زمانی به زمان دیگر است که موجب تغییر فرکانس تشدید می شود. شکل زیر تاثیر ظرفیت خازنی ثابت و اندوکتانس متغیر را نشان می دهد.

این تغییر مداوم فرکانس تشدید ممکن است موجب تطبیق فرکانس تشدید بر فرکانس هارمونیک شود که ممکن است منتج به ولتاژ بالا و جریان بالا که سبب نقص و خرابی تجهیزات الکتریکی می شوند، گردد. بنا بر این در هر دو تشدید موازی و سری خازنهای قدرت متاثر هستند که بکارگیری دستگاه های حفاظتی و ایمنی را برای خازنهای ایجاب می نماید. این امر درک صحیح بر خازنهای قدرت را قبل از اعمال تصحیح بخاطر تاثیر هارمونیک ها و تشدید ایجاب می نماید.

خازنهای قدرت:

خازنهای اصلاح ضریب توان نسبت به هارمونیک ها حساس اند و بیشتر عیوب خازنهای قدرت،

عیوبی با طبیعت زیر را نشان می دهند:

هارمونیک ها - هارمونیک های پنجم، هفتم، یازدهم، سیزدهم و ...

تشدید

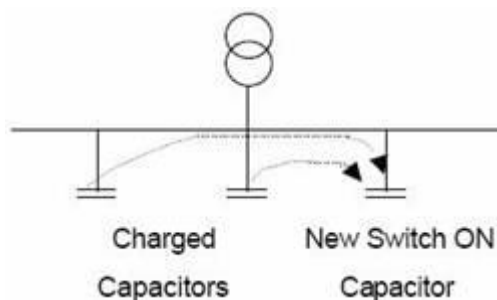
اضافه ولتاژ

امواج کلید زنی

جریان هجومی

ولتاژ آنی بازگیری جرقه

تخلیه / بازبست ولتاژ



بسته به طراحی ساختاری اساسی ، حدود پایداری در مقابل اضافه ولتاژ ، اضافه جریان و

هارمونیکها برای دور کردن خازن از خرابی بسیار مهم است.

اساسا خازن ها امواج کلید زنی تولید می کنند که عموما به عنوان جریان هجومی و اضافه ولتاژ

آنی دسته بندی می شوند.

جریان هجومی پدیده ای است که هنگام به مدار وصل کردن خازن ها رخ می دهد. امپدانس

ارائه شده توسط خازن طبیعتا بسیار کم و مقاومتی است. این امر منجر به جریان هجومی به بزرگی

۵۰ تا ۱۰۰ برابر جریان اسمی می شود که از خازن عبور می کند ، اما چرا از خازن؟ زیرا امپدانس

ترانسفورماتور در زمان روشن کردن خازن ها فقط در مقابل شار جریان مقاومت می کند.

این امر هنگامی پیچیده تر می گردد که در ترکیب موازی بانک خازنی ممکن است جریان

هجومی کلید زنی به سطحی بالاتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ برابر جریان اسمی برسد. این جریان هجومی نتیجه

تخلیه خازن های از پیش شارژ شده موازی با آن می باشد. در زیر این مطلب نشان داده شده

است. نوعا جریان هجومی علاوه بر تخریب در شکل موج جریان سبب تخریب در شکل موج ولتاژ می

شود.

در هنگام خاموش کردن (از مدار خارج کردن) خازن ها ، بسته به شارژ ذخیره شده در آن ،

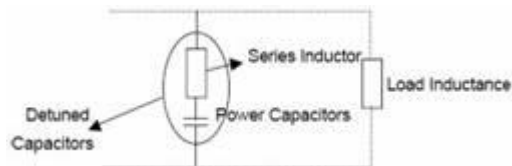
اضافه ولتاژ ناگهانی بالاتری در زمان خاموش کردن خازن ها بوجود خواهد آمد که ممکن است موجب

پدید آمدن جرقه در پایه ها شود.

هنگامی که خازن خاموش می شود شار الکتریکی در خود نگه می دارد و بوسیله مقاومتهای تخلیه ، تخلیه (Discharge) می شود. مدت زمان تخلیه عموماً بین ۳۰ تا ۶۰ ثانیه می باشد. تا زمانی که تخلیه بشکل موثری صورت نگرفته نمی توان خازنهای را به مدار باز گرداند. هرگونه باز بست خازن قبل از تخلیه کامل دوباره موجب افزایش جریان هجومی می شود.

علاوه بر دستگاه های مسدود کننده هارمونیک ها که با صحت خازن ها نسبت مستقیم دارند ، و در سر خط بعدی تشریح می شوند ، دستگاه های تحلیل برنده امواج کلید زنی مثل جریان هجومی ، اضافه ولتاژ آنی و غیره نیاز دارند که بطور دقیق تعریف و بررسی شوند.

دستگاه های مسدود کننده هارمونیک ها:



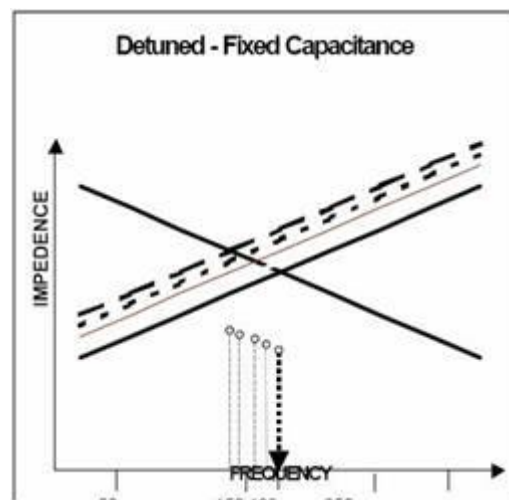
برای کاربری سالم خازن ها لازم است که فرکانس تشدید مدار LC (سلف - خازن) که شامل ادوکتانس بار و خازنهای اصلاح ضریب توان می شود ، به فرکانسی دور از کمترین فرکانس هارمونیک تغییر داده شود. برای مثال هارمونیک هایی که در سامانه تولید می شوند و خازن های قدرت را متاثر می سازند ، هارمونیک های پنجم ، هفتم ، یازدهم ، سیزدهم و غیره هستند. پایین ترین هارمونیکی که بر خازن ها تاثیر می گذارد هارمونیک پنجم است که در فرکانس ۲۵۰ هرتز دیده می شود. اساساً اگر خازن ها با سلف ها موازی شده باشند ، انتخاب مقدار اندوکتانس به شکل زیر است :

ترکیب سری LC (سلف - خازن) در فرکانسی زیر ۲۵۰ هرتز تشدید می کند . بنابراین در همه فرکانس های هارمونیک ها ترکیب سری سلف و خازن مانند یک ترکیب سلفی عمل خواهد کرد و

امکان تشدید برای هارمونیک پنجم یا هر هارمونیک بالاتری از بین می رود. شکل زیر نامیزان سازی (De - Tuning) خازن ها را نشان می دهد.

این ترکیب سلف و خازن که در آن فرکانس تشدید در فرکانسی دور از فرکانس هارمونیک تنظیم شده است، مدار LC (سلف - خازن) نامیزان شده

(De-Tuned) نام دارد. ضریب نامیزان سازی نسبت رآکتانس به ظرفیت خازنی است. در مدار خازنی نامیزان شده، اساساً سلف مانند دستگاه مسدود کننده هارمونیک ها عمل می کند. برای خازن ها ضریب مناسب نامیزان سازی حدود ۷٪ است که فرکانس تشدید را در ۱۸۹ هرتز تنظیم می کند. اما، نامیزان سازی ۵,۶۷٪ همچنین در جایی استفاده می شود که فرکانس تشدید معادل ۲۱۰ هرتز دارد. هر دو درجه نامیزان سازی، مسدود کردن (بلوکه کردن) هارمونیک ها از خازن ها را تضمین می کنند. شکل زیر درجه نامیزان سازی را نمایش می دهد.



بانک های نامیزان سازی خازن:

بانک های نامیزان سازی خازن نیازمند آن هستند که با نکات اساسی زیر مشخص شوند:

انتخاب درجه نامیزان سازی

محاسبه خازن کل خروجی مورد نیاز

محاسبه افزایش ولتاژ بوسیله سلف های سری

درجه نامیزان سازی مطلوب بر پایه هارمونیک موجود است. لازم است که هارمونیک های

سمت بار اندازه گیری شوند تا در درجه نامیزان تصمیم گیری شود.

\*

خروجی خازن و سطح ولتاژ نیاز به انتخاب صحیح بر اساس درجه نامیزان سازی دارند. برای

مثال برای ۷٪ نامیزان سازی برای رسیدن به ۲۰۰ کیلو ولت آمپر راکتیو خروجی (KVAR) در ۴۰۰

ولت ، نیاز به آن داریم که خازن ۲۴۰ KVAR خروجی با ولتاژ ۴۰۰ ولت انتخاب نماییم. این بدلیل

افزایش ولتاژ بوسیله اندوکتانس سری است. مشابهها برای رسیدن به ۲۰۰ KVAR خروجی در ولتاژ

۴۴۰ ولت به خازن های ۲۴۰ KVAR خروجی ۴۸۰ ولتی نیاز است.

محاسبه افزایش ولتاژ به سبب راکتانس سری ، بر اساس نامیزان سازی است و به روش زیر

انجام می گیرد :

( درجه نامیزان سازی - ۱ ) / (ولتاژ نرمال مجاز) = ولتاژ خازن

سامانه خازنی ایده آل:

برای تصحیح ضریب توان در بار صنعتی کنونی که شامل هارمونیک ها و تشدید می شود ، یک

سامانه اتصال خازنی اساسا باید خصوصیات زیر را دارا باشد :

ظرفیت خازنی متغیر بر اساس توان راکتیو برای دوری از تغییر فرکانس تشدید. این امر انتخاب

صحیح پنل های APFC را ممکن می سازد. پنل APFC باید خصوصیات زیر را داشته باشد.

حسگرها باید به طور مداوم سطح هارمونیک های ولتاژ را نمایش دهد و خازن ها را تحت زیر

سطوح بالاتر هارمونیک ها محافظت نماید.



انتخاب محدوده هارمونیک های پنجم ، هفتم ، یازدهم ، سیزدهم و همچنین شناخت تخریب همه هارمونیک ها برای تنظیم حدود ایمن و همچنین پیش بینی تغییرات بعدی هارمونیک ها. مونیتورینگ جریان RMS برای محافظت خازن ها تحت هر حالت تشدید. کنترل مشخصات ، برای دوری از بکارگیری ظرفیت مازاد خازنی تحت حالت کم بار. انتخاب خازن با عمر بالا و با تضمین مشخصات زیر :

ظرفیت اضافه بار : حداقل دو برابر جریان اسمی به طور مداوم و ۳۵۰ برابر آن هنگام جریان هجومی.

قابلیت پایداری در مقابل اضافه ولتاژ: بیشتر از ۱۰٪ و بالاتر از ولتاژ مجاز بصورت پیوسته. قابلیت پایداری در مقابل هارمونیک ها : تضمین محدوده های هارمونیک های پنجم ، هفتم ، یازدهم ، سیزدهم و همچنین برای محدوده های THD.

مدار سلفی De – Tuned برای مسدود کردن هارمونیک ها (الگوی هارمونیک بار باید قبل از تعیین درجه نامیزان سازی (De – Tuning) اندازه گیری شود).

انتخاب سطح خازن و سطح ولتاژ براساس درجه نامیزان سازی.

دستگاه های کلیدزنی با تقلیل دهنده های داخلی برای تقلیل امواج کلید زنی برای خازن های قدرت.

اساسا این خصوصیات با مطالعه متناسب هارمونیک های ولتاژ بار همراه است که تضمین می کند که تاثیر مخرب هارمونیک ها و تشدید از خازن ها دور شود که بدین وسیله عمر خازن ها و کارایی کل سامانه الکتریکی را افزایش می دهد.

### اثرات الکترومغناطیسی [5] و [16]

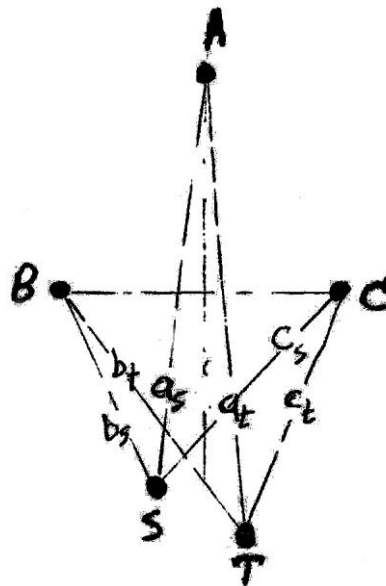
اگر A, B, C در شکل ۴-۱ هادیهای شبکه قدرت و S و T هادیهای تلفن باشد و فواصل آنها در شکل آمده است. شعاع هر هادی شبکه قدرت است. حلقه متشکله از هادیهای A و S را در نظر بگیرید، ضریب خود القاء دو نصف ضریب خود القاء یک جفت هادی موازی است چون فقط هادی A در نیروی محرکه الکتریکی القائی در S سهم دارد. اگر این ضریب خود القاء را با  $L_{AS}$  نشان دهیم از فصل گذشته داریم:

$$L_{AS} = \frac{10^{-7}}{2} (1 + 4 \log_e \frac{q_s}{r}) \text{ henrys/m}$$

یا بطور تقریب چون  $A_s$  از  $r$  بزرگتر است (در عمل چنین است).

$$L_{AS} = (2 \log_e \frac{q_s}{r}) \times 10^{-4} \text{ henrys/km}$$

$$\text{به همین ترتیب} = (2 \log_e \frac{q_T}{r}) \times 10^{-4} \text{ henrys/km}$$



شکل ۴-۱- خطوط قدرت و تلفن مجاور یکدیگر

چون بین هادی A و حلقه ST القاء متقابل وجود دارد داریم:

$$M_A = L_{AT} - L_{AS} = 2(\log L \frac{q_T}{r} - \log_e \frac{q_s}{r}) \times 10^{-4}$$

$$= 2 \log_e \frac{q_T}{q_s} \times 10^{-4} \text{ henrys/km}$$

علامت منفی در بالا لازم است زیرا دو هادی تلفنی از دو خط رفت و برگشت تشکیل شده است.

بهمین ترتیب ضریب القاء متقابل  $M_B$  بین B و حلقه ST و  $M_C$  بین C و حلقه ST بدست میآید. این سه ضریب القاء متقابل در نتیجه شارهای ناشی از جریانهای است که در شبکه سه فاز معمولی جابجائی فاز  $120^\circ$  دارند. سه شار دارای یک رابطه فازی بوده و بنابراین ترکیب ضریب القاء متقابل مجموع برداری سه مقدار جداگانه زیر است:

$$M = M_A + M_B + M_C$$

نیروی محرکه القائی در حلقه ST با رابطه زیر بیان میشود:

$$E_m = 2\pi f M I$$

که I جریان خط انتقال است.

دیده میشود که چون M مجموع برداری  $M_A, M_B, M_C$  است حذف جزئی ناشی از ولتاژهای القائی جریان شبکه قدرت خواهیم داشت. این حذف در حالت شبکه سه فاز متعادل که هادیهای آن بطور متقارن قرار گرفته باشد تقریباً کامل است. و در حالتی که فاصله مدار تلقن از خط انتقال بزرگتر باشد قدرت حذف بیشتر است  $M_A, M_B, M_C$  از نظر مقدار بیشتر متعادل شده زیرا نسبت فواصل بین یک هادی خط انتقال و دو هادی خط تلفن در تمام حالات بواحد نزدیکتر است. نتیجه برتر وقتی است که جریانهای شبکه قدرت نامتعادل میشود مانند حالتی که اتصال یکفاز بزمین در شبکه رخ دهد.

اثر حذف القا متقابل در مورد هارمونیکهای مضرب ۳ صادق نیست حتی اگر شبکه قدرت متعادل شد. و در نتیجه این فرکانسها اگر وجود داشته باشد ایجاد زحمت نمایند.

ضریب القاء متقابل کل برای این هارمونیکها مجموع عددی سه مؤلفه است که ولتاژ القائی کل معادل ۳ برابر مقدار مربوط به یکفاز خواهد داشت. این ولتاژ القائی از مقدار مربوط به موج اصلی بزرگتر شده. زیرا متناسب با فرکانس است (از عبارت مربوط به  $E_m$  معلوم است) هر چند این فرکانسهای بالاتر از حدود شنوائی قرار داشته باشد. این اثر را میتوان با استفاده از شبکه سه فاز با نقطه خنثی عایق شده سه سیمه حذف کرد ولی چنین شبکه‌ای استثنائی بوده و معلوم نیست. لازم بیادآوری است که انواع معین بار مانند یکسو کننده‌ها تمایل به ایجاد هارمونیک دارند و همچنین وجود کورونا از این قبیل است.

### اثرات الکترو استاتیکی (الکتریسیته ساکن) [5],[7]

وقتی هادی مانند A طبق شکل ۲-۴ موازی صفحه بینهایت باشد توزیع پتانسیل بین A و این صفحه دقیقاً معادل توزیع پتانسیل بین تصویر A و صفحه است. بنابراین اگر A بار  $qc/m$  داشته باشد پتانسیل A نسبت به این صفحه که در عمل زمین میباشد عبارتست از:

$$V_A = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int_r^e \left\{ \frac{q}{x} + \frac{q}{2a-x} \right\} dx = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q \cdot \log_e \frac{2a-r}{r}$$

پتانسیل S بالای زمین ناشی از هادی A بهمین ترتیب بدست میآید فقط حدود اینتگرال از  $a_s$

تا a است بنابراین اگر پتانسیل S نسبت به A یا  $V_{SA}$  نشان داده شود. داریم:

$$V_{SA} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int_{a_s}^a \left\{ \frac{q}{x} + \frac{q}{2a-x} \right\} dx$$

$$= \frac{1}{2\pi\epsilon_0} q \cdot \log_e \left\{ \frac{2a-a_s}{a_s} \right\} = V_A \left\{ \frac{\log_e \left[ \frac{2a-a_s}{a_s} \right]}{\log_e \left[ \frac{2a-r}{r} \right]} \right\}$$

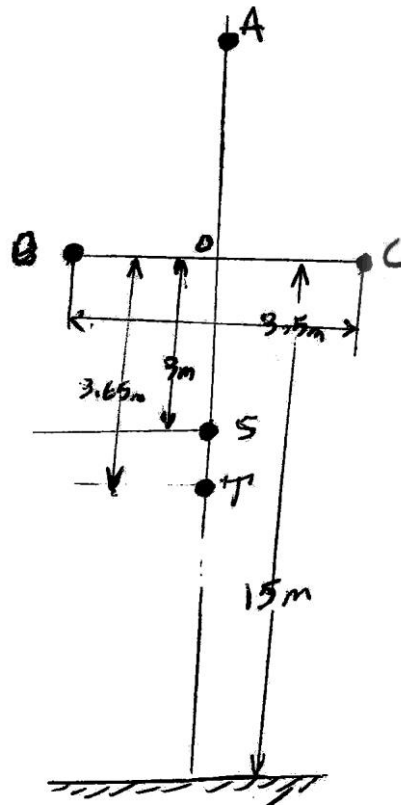
پتانسیل S بالای سطح زمین ناشی از هادیهای B و C بهمین ترتیب محاسبه میشود و بترتیب

با  $V_{SB}$  و  $V_{SC}$  نمایش داده میشوند پتانسیل منتهی S نسبت بزمین چنین خواهد بود:

$$V_s = V_{SA} + V_{SB} + V_{SC}$$



شکل ۴-۲



شکل ۴-۳

$$= 0.202 \times 10^{-4} \text{ henrys/km}$$

$$M_B = 2 \times 10^{-4} \log_e \frac{3.69}{3.48} = 0.212 \times 10^{-4} \text{ henrys/km}$$

$$M_C = M_B$$

$$\therefore M^2 = (M_A + M_B \cos 120^\circ + M_C \cos 240^\circ)^2 + (M_B \sin 120^\circ + M_C \sin 240^\circ)^2$$

$$M = (2.12 - 2.02) \times 10^{-5} \text{ henrys/km} = 0.1 \times 10^{-5} M_A \text{ henrys/km}$$

$$I = \frac{30.000 \times 1.000}{\sqrt{3} \times 130.000 \times 0.9} = 148.4 \text{ A}$$

$$E = 2\pi f M I = 2\pi \times 50 \times 0.1 \times 10^{-5} \times 14804 = 0.465 \text{ V/kms}$$

بنابراین برای تمام خط ۱۶۰km ولتاژ القائی موج اصلی در خط تلفن ۷/۴۶V است.

برای اثر الکترو استاتیکی در مورد هادی S داریم.

$$V_{SA} = V_A \left\{ \frac{\log_e \frac{2a-as}{a_s}}{\log_e \frac{2a-r}{r}} \right\} = \frac{130.000}{\sqrt{3}} \times \frac{\log_e \frac{36.06-6.03}{6.03}}{\log_e \frac{36.06 \times 10^3}{5.5}} = 19kv$$

$$V_{SB} = V_B \left\{ \frac{\log_e \frac{2b-bs}{b_s}}{\log_e \frac{2b-r}{r}} \right\} = \frac{130.000}{\sqrt{3}} \times \frac{\log_e \frac{30-3.48}{3.48}}{\log_e \frac{30 \times 10^3}{5.5}} = 12/900v = V_{SC}$$

بنابراین با توجه به اینکه  $V_S$  مجموع برداری سه مؤلفه بالاست داریم:

$$V_S = 19000 - 12.900 = 6.100V$$

بهمین ترتیب پتانسیل هادی T محاسبه میشود.

این البته حالت نهایی است که مقدار کمیات را در برترین شرایط محسوب می دارد.

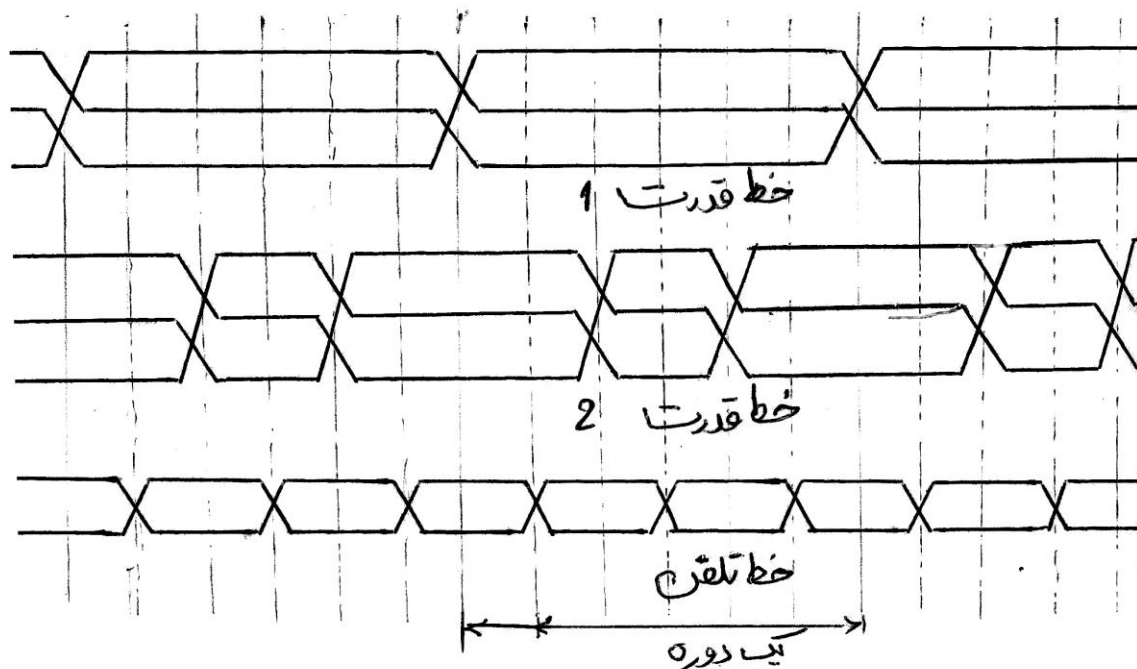
کاهش اثر تداخل [5]

مثال عددی بالا نشان می دهد که اغلب جریان القاء الکترومغناطیسی در شبکه مخابراتی ممکن

است بقدری بزرگ شود که صحبت غیرممکن گردد. و نیروی محرکه الکتریکی الکترواستاتیک بسیار

قوی و خطرناک باشد.

یک روش کاهش اثر تداخل جابجا کردن (پیچیدن) هادیهای خط انتقال و خط تلفن می باشد.



شکل ۴-۴- نمودار جابجا کردن دو خط قدرت و یک خط تلفن

پیچیدن خطوط این اثر را دارد که نیروی محرکه الکتریکی القائی را به یک سری نیروی محرکه متقابل مخالف تجزیه می‌کند.

اصول پیچیدن خط مانند پیچیدن شمش‌های لایه‌ای در مولدها و ترانسفورماتورهاست. در یک خط تلفن که موازی یک خط انتقال ساده کشیده شده اگر خط انتقال انشعاب نداشته باشد یعنی جریان در طول خط ثابت باشد جابجائی ساده هادیهای خط تلفن از نظر تئوری کافی است اما اگر دو شبکه روی دکل‌های واحدی قرار داشته باشند لازمست هادیهای خط انتقال را هر دو یا ۳ کیلومتر، و هادیهای تلفن را هر ۱۵۰ متر جابجا کنیم. تعداد جابجائی بستگی زیادی به حساسیت دستگاه گیرنده دارد. در حالتی که خط تلفن موازی یک خط قدرت دویل (دومداره) کشیده شده باشد مسئله مشکل‌تر بوده و لازمست هادیهای دو شبکه قدرت و خط تلفن را جابجا کرد. شکل ۴-۴ یک حالت ممکن آن را نشان می‌دهد. ازین شکل دیده می‌شود که جابجائی برای هر مدار منظم بوده و در هر نقطه خط بیش از یکبار جابجایی صورت نگرفته است.



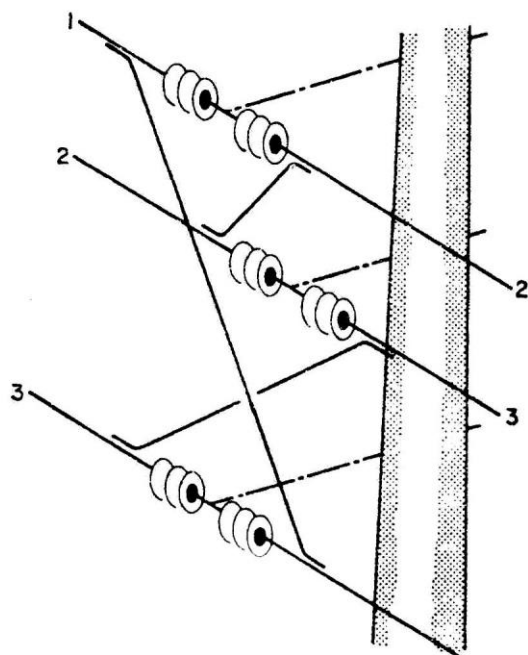
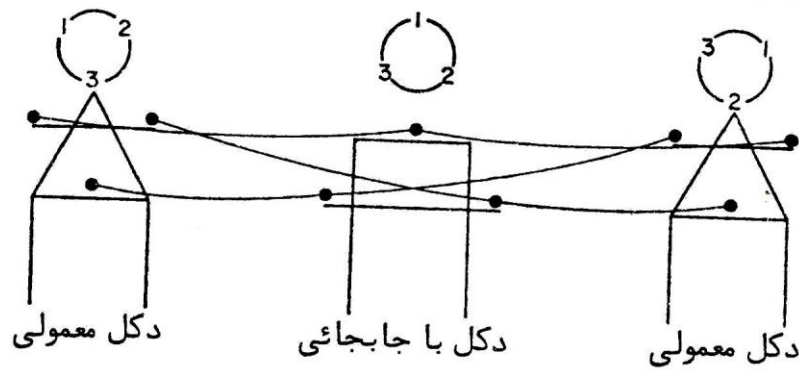
هر جابجایی خط تلفن شامل رد شدن کامل رود هادی از رویهم است در حالی که همه جابجایی خط سه‌فاز شامل دوردشدگی در صفحه عمود بر مسیر خط در  $\frac{1}{3}$  دوره جابجایی آنست. بنابراین برای برگشت هادیها به وضع اول خود سه‌جابجایی لازمست. روشهای مختلف جابجایی خط انتقال نیرو و خط تلفن در شکل ۴-۵ آمده است.

لازم به تذکر است که خط قدرت فشار قوی با این روش احتیاج به دکل‌های بزرگ و پیچیده دارد به این دلیل جابجایی در چنین خطوط بندرت انجام می‌گیرد. از آن گذشته اثر بارگیری الکترواستاتیکی خط تلفن نیز باعث عبور جریان از آن شده و این جریان با جریان صوتی تداخل می‌کند. این اثر را نمی‌توان با جابجا کردن حذف کرد.

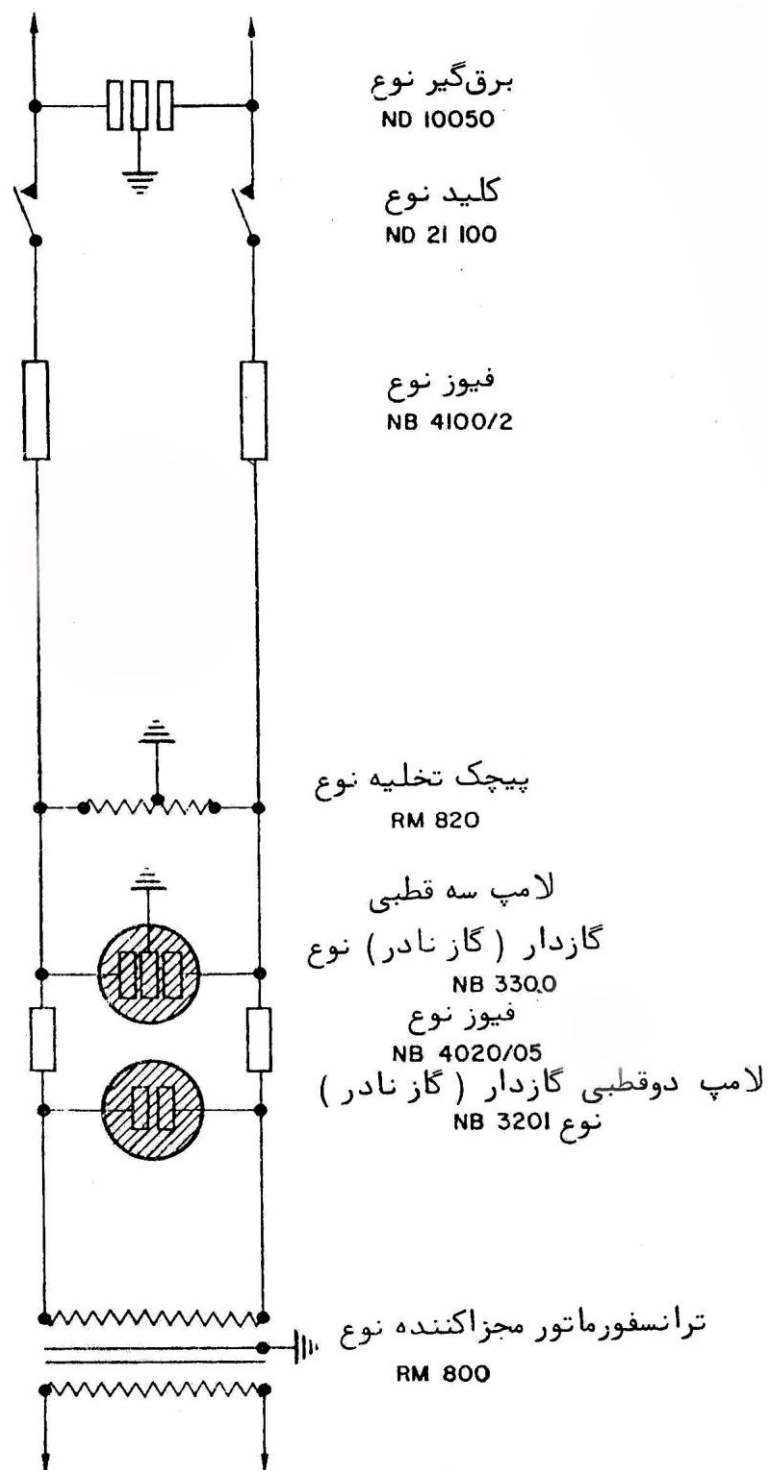
کاربرد کابل‌های با تور سیمی برای خط تلفن این عیب را از بین می‌برد ولی این کار همیشه امکان ندارد زیرا نصب و کشیدن چنین کار بی‌مشکل است. ولی اثر توری را می‌توان با استفاده از یک سیم زمین که بین خط انتقال نیرو خط تلفن برپا می‌شود بدست آورد. اثر الکترومغناطیسی را می‌توان با تقسیم خط تلفن به طول‌های کوچک که هر کدام از اجزاء مجاور با ترانسفورماتورهای مجزا کنند. ۱:۱ جدا شده‌اند کاهش داد. چنین روشی را برای انتقال یک سیگنال d.c نمی‌توان بکار برد و بهر حال ترانسفورماتورها تلفات مدار مخابراتی را افزایش می‌دهند.

در حالتی که بار الکترواستاتیکی زیاد باشد لازمست دستگاه تلفن را توسط ترانسفورماتورهای مجزا کننده کاملاً جدا کرده و همچنین از تخلیه بارهای القائی توسط پیچک‌های مخصوص یا برق‌گیرها مطمئن شد. شکل ۴-۶ چنین مداری را که مربوط به

بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق  
فشار قوی و تاثیرات آن



شکل ۴-۵- دو روش جابجا کردن



شکل ۴-۶- حفاظت مدار مخابراتی

کاربرد کابل‌های با تور سیمی برای خط تلفن این عیب را از بین می‌برد ولی این کار همیشه امکان ندارد زیرا نصب و کشیدن چنین کابلی مشکل است. ولی اثر توری را می‌توان با استفاده از یک

سیم زمین که بین خط انتقال نیرو و خط تلفن برپا می‌شود بدست آورد. اثر الکترومغناطیسی را می‌توان با تقسیم خط تلفن به طولهای کوچک که هر کدام از اجزاء مجاور با ترانسفورماتورهای مجزا کننده ۱:۱ جدا شده‌اند کاهش داد. چنین روشی را برای انتقال یک سیگنال d.c نمی‌توان بکار برد و بهر حال ترانسفورماتورها تلفات مدار مخابراتی را افزایش می‌دهند.

در حالتی که بار الکترواستاتیکی زیاد باشد لازمست دستگاه تلفن را توسط ترانسفورماتورهای مجزا کننده کاملاً جدا کرده و همچنین از تخلیه بارهای القائی توسط پیچکهای مخصوص یا برق‌گیرها مطمئن شد. شکل ۴-۶ چنین مداری را که مربوط به شرکت تلفن اریکسون است نشان می‌دهد. در این شکل در یک طرف خط کلید با برق‌گیر فیوزهای فشار قوی، پیچک تخلیه، حباب پر از گاز سه قطبی که صفحه مرکزی آن زمین شده، یک حباب پر از گاز دوقطبی و بالاخره یک ترانسفورماتور مجزا کننده که دستگاه گیرنده را از خط عایق (مجزا) می‌کند قرار دارند. سه صفحه برق‌گیر، شبکه را از ولتاژ زیادی که بین هادیهای خط تولید می‌شود حفاظت می‌کند در حالی که پیچک تخلیه که بطور ساده یک چک می‌باشد که وسط آن به زمین اتصال یافته از ذخیره شدن بار ساکن جلوگیری می‌کند. حبابهای پر از گاز نسبت به فرکانسهای مزاحم بالا که ممکن است توسط خط انتقال تولید شوند خیلی حساس است و وقتی ولتاژ به نزدیکی ۳۰۰ برسد به سادگی تخلیه می‌شوند.

**سوئیچینگ و روشهای کاهش آن اثرات مخرب تداخل امواج الکترومغناطیسی در**

### منابع تغذیه

پدیده انتشار امواج الکترومغناطیسی و منابع تولید آن مبدلهای قدرت سوئیچینگ بدلیل مزیت‌های زیادی که دارند، محبوبیت زیادی پیدا کرده‌اند و به عنوان جزء اصلی هر نوع دستگاهی که نیاز به تغذیه دارد، بکار می‌روند. اما با وجود این همه مزیت، یک عیب اساسی نیز در این منابع تغذیه

سوئیچینگ وجود دارد و آن تولید نویز با فرکانس بالا است که بدلیل کلیدزنی سریع رگولاتورهای مبدل قدرت با توانهای فوق العاده زیاد، بوجود می آید. در بیشتر کاربردها، ضروری است که نویز را در خارج از منبع تغذیه فیلتر کنند و از انتشار آن با استفاده از پرده های فلزی محافظی که روی دستگاه کشیده می شود، جلوگیری کنند.

منبع تولید امواج الکترومغناطیسی، تغییرات سریع میدانهای الکتریکی یا مغناطیسی است. منابع مهم تولید تداخل امواج الکترومغناطیسی، موتورهای الکتریکی (خصوصاً موتورهای با جاروبک و همچنین تکفاز)، رله ها و کلیدهایی که با سرعت زیاد جریان الکتریکی را قطع و وصل می کنند، می باشند. منابع تغذیه سوئیچینگ نیز بدلیل عملکرد کلیدزنی آنها، یکی از منابع مهم بوجود آورنده تداخل امواج الکترومغناطیسی محسوب می شوند. در این منابع تغذیه سوئیچینگ، امواج الکترومغناطیسی بر اثر کلیدزنی سریع ترانزیستور و قطع و وصل سریع جریان ایجاد می شود. همچنین تلفات کلید زنی در زمان روشن کردن و یا خاموش کردن ترانزیستور ها نیز یکی از دلایل ایجاد امواج الکترومغناطیسی است، که در هوا منتشر شده و از آنجایی که دارای هارمونیک های با فرکانس بالایی هستند، بعنوان امواج الکترومغناطیسی مخرب عمل می کنند و روی سیستمهای مخابراتی اثرات نامطلوب می گذارند.

به همین دلیل منابع تغذیه سوئیچینگ را می بایست توسط جعبه های فلزی پوشاند تا از انتشار امواج الکترومغناطیسی در محیط، توسط منابع تغذیه سوئیچینگ جلوگیری شود. به عنوان نمونه می توان به منابع تغذیه سوئیچینگ در کامپیوترهای شخصی اشاره کرد که در یک جعبه فلزی از آن محافظت می شود، تا بتوان تا حد ممکن از تداخل الکترومغناطیسی توسط منبع تغذیه سوئیچینگ جلوگیری نمود. همچنین در طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ تا حد ممکن باید دقت شود که با بکار گرفتن روشهای مناسب، امواج الکترومغناطیسی را که در فضای اطراف منتشر می شود کاهش داد.

برای درک چگونگی ایجاد تداخل امواج الکترومغناطیسی به یک مثال ساده اشاره می‌کنم. در مداری متشکل از یک منبع dc، یک کلید و یک مقاومت که بطور سری با هم بسته شده باشند، با باز بودن کلید فقط یک میدان ثابت الکتریکی بین سیم رفت و سیم برگشت ایجاد می‌شود. با بستن کلید علاوه بر میدان الکتریکی بین دو سیم، یک میدان حلقوی مغناطیسی ناشی از عبور جریان از درون سیم نیز بوجود می‌آید.

حال اگر عمل قطع و وصل کلید با سرعت زیاد انجام شود یک موج الکترومغناطیسی که متغیر با زمان نیز می‌باشد ایجاد می‌شود و می‌تواند براحتی در فضای اطراف سیمها منتشر شود. هر چه سرعت کلیدزنی بیشتر باشد، امواج الکترومغناطیسی تولیدی دارای فرکانس بیشتری می‌شود و براحتی و با انرژی کمتری می‌تواند در شعاع بیشتری در فضا انتشار یابد. در یک مدار ساده منبع تغذیه سوئیچینگ نیز با قطع و وصل جریان، یک مولد امواج الکترومغناطیسی است.

در بین پیوند کلکتور-امیتر ترانزیستور، بر اثر قطع و وصل شدن با سرعت زیاد، میزان خیلی زیاد  $dv/dt$  وجود دارد که ناشی از شیب خط منحنی ولتاژ در زمان قطع و وصل است. و نیز در خازن  $di/dt$  زیادی وجود دارد که آن هم ناشی از شیب خط منحنی جریان در زمان قطع و وصل است. که این مقادیر بالای  $dv/dt$  و  $di/dt$  می‌توانند یک موج الکترومغناطیسی شدید را با توان بالا تولید کنند. منبع ایجاد نویز دیگر در منابع تغذیه سوئیچینگ، سیستم یکسوسازی آن می‌باشد. از آنجایی که یکسوسازها موج ورودی را بصورت گسسته قطع و وصل می‌کنند، دارای مقدار  $di/dt$  زیادی می‌باشند.

امواج الکترومغناطیسی می‌توانند توسط هدایت کننده های الکتریکی در فضا منتشر می‌شوند. کوپلاژهای الکتریکی که توسط خازن، سلف و یا ترانسفورماتور ایجاد می‌شوند نیز می‌توانند از طریق فاصله هوایی، امواج الکترومغناطیسی را در فضای اطراف منتشر کنند.

امواج الکترومغناطیسی که در فضا منتشر می شوند عبارتند از:

- ۱- نویز منتشر شده از اتصال خروجی سیستم ایزولاسیون به بار.
  - ۲- نویز منتشر شده از اتصال ورودی قدرت به سیستم ایزولاسیون.
  - ۳- امواج الکترومغناطیسی منتشر شده از فاصله هوایی در فضا.
  - ۴- ایزولاسیون منبع قدرت اولیه و بار باعث می شود نویز ورودی به خروجی انتقال یابد و بالعکس.
- اثرات مخرب پدیده تداخل امواج الکترومغناطیسی در منابع تغذیه سوئیچینگ و روشهای کاهش آن

مسأله تداخل الکترومغناطیسی یا EMI در سیستمهای خطی در طیف فرکانسی کوچکتر از ۲۰ KHz در منابع تغذیه سوئیچینگ قابل چشم پوشی می باشد. اما با بالا رفتن فرکانس، هارمونیکهای با فرکانس بیشتر از فرکانس اصلی، ایجاد تداخل در باندهای رادیویی و مخابراتی می کنند. از آنجایی که منابع تغذیه سوئیچینگ امروزه در توانهای بالا هم کاربرد های وسیع پیدا کرده اند، این گونه از منابع تغذیه سوئیچینگ به عنوان یک منبع تولید نویز شدید و قوی برای مدارات مخابراتی شناخته می شوند. بنابراین با روشهایی مانند فیلتر کردن ورودی و خروجی و ... باید میزان اثر تداخل الکترومغناطیسی را تا حد امکان کاهش داد.

۲- پدیده انتشار امواج الکترومغناطیسی و منابع تولید آن

مبدل های قدرت سوئیچینگ بدلیل مزیت های زیادی که دارند، محبوبیت زیادی پیدا کرده اند و به عنوان جزء اصلی هر نوع دستگاهی که نیاز به تغذیه دارد، بکار می روند. اما با وجود این همه مزیت، یک عیب اساسی نیز در این منابع تغذیه سوئیچینگ وجود دارد و آن تولید نویز با فرکانس بالا است که بدلیل کلیدزنی سریع رگولاتورهای مبدل قدرت با توانهای فوق العاده زیاد، بوجود می آید. در

بیشتر کاربردها، ضروری است که نویز را در خارج از منبع تغذیه فیلتر کنند و از انتشار آن با استفاده از پرده های فلزی محافظی که روی دستگاه کشیده می شود، جلوگیری کنند.

منبع تولید امواج الکترومغناطیسی، تغییرات سریع میدانهای الکتریکی یا مغناطیسی است. منابع مهم تولید تداخل امواج الکترومغناطیسی، موتورهای الکتریکی (خصوصاً موتورهای با جاروبک و همچنین تکفاز)، رله ها و کلیدهایی که با سرعت زیاد جریان الکتریکی را قطع و وصل می کنند، می باشند.

منابع تغذیه سوئیچینگ نیز بدلیل عملکرد کلیدزنی آنها، یکی از منابع مهم بوجود آورنده تداخل امواج الکترومغناطیسی محسوب می شوند. در این منابع تغذیه سوئیچینگ، امواج الکترومغناطیسی بر اثر کلیدزنی سریع ترانزیستور و قطع و وصل سریع جریان ایجاد می شود. همچنین تلفات کلید زنی در زمان روشن کردن و یا خاموش کردن ترانزیستور ها نیز یکی از دلایل ایجاد امواج الکترومغناطیسی است، که در هوا منتشر شده و از آنجایی که دارای هارمونیکهای با فرکانس بالایی هستند، بعنوان امواج الکترومغناطیسی مخرب عمل می کنند و روی سیستمهای مخابراتی اثرات نامطلوب می گذارند.

به همین دلیل منابع تغذیه سوئیچینگ را می بایست توسط جعبه های فلزی پوشاند تا از انتشار امواج الکترومغناطیسی در محیط، توسط منابع تغذیه سوئیچینگ جلوگیری شود. به عنوان نمونه می توان به منابع تغذیه سوئیچینگ در کامپیوترهای شخصی اشاره کرد که در یک جعبه فلزی از آن محافظت می شود، تا بتوان تا حد ممکن از تداخل الکترومغناطیسی توسط منبع تغذیه سوئیچینگ جلوگیری نمود. همچنین در طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ تا حد ممکن باید دقت شود که با بکار گرفتن روشهای مناسب، امواج الکترومغناطیسی را که در فضای اطراف منتشر می شود کاهش داد.

برای درک چگونگی ایجاد تداخل امواج الکترومغناطیسی به یک مثال ساده اشاره می کنیم. در مدار متشکل از یک منبع dc، یک کلید و یک مقاومت که بطور سری با هم بسته شده باشند، با باز بودن کلید فقط یک میدان ثابت الکتریکی بین سیم رفت و سیم برگشت ایجاد می شود.



با بستن کلید علاوه بر میدان الکتریکی بین دو سیم، یک میدان حلقوی مغناطیسی ناشی از عبور جریان از درون سیم نیز بوجود می آید.

حال اگر عمل قطع و وصل کلید با سرعت زیاد انجام شود یک موج الکترومغناطیسی که متغیر با زمان نیز می باشد ایجاد می شود و می تواند براحتی در فضای اطراف سیمها منتشر شود. هر چه سرعت کلیدزنی بیشتر باشد، امواج الکترومغناطیسی تولیدی دارای فرکانس بیشتری می شود و براحتی و با انرژی کمتری می تواند در شعاع بیشتری در فضا انتشار یابد. در یک مدار ساده منبع تغذیه سوئیچینگ نیز با قطع و وصل جریان، یک مولد امواج الکترومغناطیسی است. در بین پیوند کلکتور-امیتر ترانزیستور، بر اثر قطع و وصل شدن با سرعت زیاد، میزان خیلی زیاد  $dv/dt$  وجود دارد که ناشی از شیب خط منحنی ولتاژ در زمان قطع و وصل است. و نیز در خازن  $di/dt$  زیادی وجود دارد که آن هم ناشی از شیب خط منحنی جریان در زمان قطع و وصل است. که این مقادیر بالای  $dv/dt$  و  $di/dt$  می توانند یک موج الکترومغناطیسی شدید را با توان بالا تولید کند.

منبع ایجاد نویز دیگر در منابع تغذیه سوئیچینگ، سیستم یکسوسازی آن می باشد. از آنجایی که یکسوسازها موج ورودی را بصورت گسسته قطع و وصل می کنند، دارای مقدار  $di/dt$  زیادی می باشند.

امواج الکترومغناطیسی می توانند توسط هدایت کننده های الکتریکی در فضا منتشر می شوند. کوپلاژهای الکتریکی که توسط خازن، سلف و یا ترانسفورماتور ایجاد می شوند نیز می توانند از طریق فاصله هوایی، امواج الکترومغناطیسی را در فضای اطراف منتشر کنند.

امواج الکترومغناطیسی که در فضا منتشر می شوند عبارتند از:

۱. نویز منتشر شده از اتصال خروجی سیستم ایزولاسیون به بار.
۲. نویز منتشر شده از اتصال ورودی قدرت به سیستم ایزولاسیون.
۳. امواج الکترومغناطیسی منتشر شده از فاصله هوایی در فضا.

۴. ایزولاسیون منبع قدرت اولیه و بار باعث می شود نویز ورودی به خروجی انتقال یابد و بالعکس.  
در مسأله تداخل امواج الکترومغناطیسی هر سیستم الکترونیکی یکی از نقش‌هایی از لحاظ تولید،  
انتقال و دریافت آن را ایفا می کند که عبارتند از:

۱. یک سیستم الکترونیکی منبع ایجاد تداخل امواج الکترومغناطیسی است.
۲. یک سیستم الکترونیکی به عنوان کانال انتقال دهنده امواج الکترومغناطیسی عمل می کند.
۳. یک سیستم الکترونیکی گیرنده و تأثیر پذیر از امواج الکترومغناطیسی است.

با توجه به اینکه یک سیستم الکترونیکی کدام یک از نقشهای فوق را در مسأله تداخل امواج  
الکترومغناطیسی دارا می باشد، می توان چاره ای برای برطرف کردن این مسأله پیدا نمود و تداخل  
امواج الکترومغناطیسی که پدیده نامطلوبی است را تا حد ممکن کاهش داده و حتی آن را از بین  
برد. برای کاهش دادن میزان نویز الکترومغناطیسی، سه مرحله را می‌بایست انجام داد. اولاً در  
صورتی که امکان داشته باشد و به ماهیت مدار الکتریکی و عملکرد آن آسیبی نرسد، با کاهش دادن  
مقدار  $dv/dt$  و  $di/dt$ ، میزان نویز را تا حد امکان کم کنیم. همچنین باید توجه داشت که در طراحی  
اولیه حتی الامکان میدانهای مغناطیسی و الکتریکی کاهش داده شوند. دوماً هدایت نویز در طول  
مسیر مدارات بایست فیلتر شود و نیز در آخر جهت جلوگیری از تشعشع نویز توسط یک پرده محافظ  
(شیلد) روی سیستم را بپوشانیم. سوماً ابعاد سیستم را به گونه ای پیاده سازی کنیم که منبع نویز را  
تا حد ممکن تضعیف کرده باشیم و این از جمله نکات ظریفی است که یک طراح منبع تغذیه  
سوئیچینگ باید به آن دقت کند.

۳- کاهش دادن تداخل امواج الکترومغناطیسی در منبع ایجاد این امواج  
در این قسمت به انواع راه کارها برای کاهش پدیده انتشار و تداخل امواج الکترومغناطیسی اشاره شده  
است.

### ۱-۳- افزودن خازن و سلف برای کاهش گرادیان جریان و ولتاژ

بیشترین میزان تولید امواج الکترومغناطیسی در فضای اطراف ترانزیستور اصلی است که عمل کلیدزنی را انجام می دهد. پس می توان گفت که این ترانزیستور بعنوان یک منبع تولید نویز مخابراتی پر قدرت، عمل می کند. انتقال ناگهانی جریان و ولتاژ در مدار، نوساناتی را بصورت تحریک ضربه ای در مدل پارازیتی خازن و همچنین سلف ترانسفورماتور و سیم پیچ ها ایجاد می کند. برای اینکه میزان تداخل امواج الکترومغناطیسی را در درون منبع تولید نویز کاهش دهیم، باید توجه داشت که چقدر می توانیم سرعت تغییرات جریان را در منبع مولد نویز کاهش دهیم. در صورتی که امکان کاهش تغییرات جریان برای ما وجود داشته باشد یک سلف کوچک را برای محدود نمودن تغییرات جریان  $di/dt$  در مدار بصورت سری و یک خازن را بصورت موازی برای کاهش دادن تغییرات ولتاژ  $dv/dt$  قرار می دهیم. این روش مناسبترین و مؤثرترین روش کاهش مقدار توان نویز در المان کلیدزنی است.

منبع مهم دیگر تولید نویز و تداخل امواج الکترومغناطیسی، زمان افت سریع جریان در دیودهایی که بایاس معکوس می شوند، است. معمولاً یک دیود با زمان بازیابی معکوس سریع، دارای زمان بازیابی حدود ۱۰ نانو ثانیه می باشد. پس این دیود می تواند، مقداری از نوسانات را (در صورتی که در رنج فرکانسی بالا در حال کار باشد) به فضا منتشر کند. زمان افت را در دیودها به این صورت می توان کنترل کرد که از دیودهایی که دارای تکنولوژی ساخت Soft recovery هستند، استفاده شود، یا در صورتی که از دیودهای با زمان بازیابی سریع استفاده می کنیم، یک خازن کوچک سرامیکی را مستقیماً با دیود موازی کنیم. همچنین می توان یک سلف RF را با ترانزیستوری که عملکرد کلیدزنی را انجام می دهد یا دیود سری کنیم تا با تغییرات ناگهانی جریان مخالفت کند و زمان خاموش شدن دیود را افزایش دهد و همچنین لبه تیز جریان که ناشی از کلیدزنی است را از بین ببرد.

در صورتی که روشهای فوق امکان پذیر نباشد، می‌بایست که با یک پردهٔ محافظت کنندهٔ فلزی (شیلد)، المان کلیدزنی را بپوشانیم. تا از تشعشع امواج الکترومغناطیسی به فضای اطراف تا حد ممکن جلوگیری کنیم. معمولاً در عمل در اکثر منابع تغذیه سوئیچینگ با فیلتر کردن و استفاده از پوشش های فلزی تداخل امواج الکترومغناطیسی را کاهش می دهند.

### ۲-۳- نوع سیم کشی

اندازه و ابعاد فیزیکی یک منبع تغذیهٔ سوئیچینگ در تولید امواج الکترومغناطیسی نقش مهمی را ایفا می کند. با کم کردن فاصلهٔ سیمهای رفت و برگشت در منابع تغذیه سوئیچینگ با استفاده از اثر القاء متقابل سیم‌ها بر روی همدیگر می‌توان نویز ناشی از امواج الکترومغناطیسی اطراف سیمها را کاهش داد. همچنین نویز ناشی از ترانسفورماتور را با استفاده از پردهٔ محافظ فلزی و نویزهای دیگر ناشی از سیم کشی را با استفاده از سیمهای با غلاف شیلد فلزی و سیم پیچ های بی‌فیلار تا حد امکان در عمل کاهش می دهند.

### ۳-۳- زمین کردن

یکی از روشهای مهار کردن امواج الکترومغناطیسی مخرب، زمین کردن الکتریکی است. روش زمین کردن ساده‌ترین روش کاهش دادن نویز در منبع می باشد. اما برای کم کردن هر چه بیشتر امواج الکترومغناطیسی و تداخل ناشی از آن باید به این نکته توجه شود که سیم‌هایی که برای اتصال زمین الکتریکی از آنها استفاده می شود از مقاومت الکتریکی خیلی کمی برخوردار باشند. تا حتی الامکان از افت ولتاژ روی مقاومت پارازیتی معادل سیم کاسته شده و نویز بطور کامل به زمین منتقل شود. روش زمین کردن الکتریکی برای کاهش دادن میزان نویز سیستمهایی که در فرکانسهای کم تا حد یک مگا هرتز کار می‌کنند مناسب است. هر چقدر که

فرکانس سیستم بالا رود، امپدانس سیمهای زمین هم بالا می رود و افت ولتاژ روی مقاومت پارازیتی سیم‌ها، زیاد می شود و در نتیجه توان تداخل امواج الکترومغناطیسی نیز بیشتر می شود. سه پارامتر مهم را که در همه منابع تغذیه سوئیچینگ باید زمین شوند عبارتند از:

۱. سیستم انتقال سیگنالهای با توان کم.

۲. سیستم قدرت با نویز زیاد.

۳. جعبه فلزی منبع تغذیه سوئیچینگ.

۳-۴- استفاده از پرده محافظ برای جلوگیری از تشعشع امواج الکترومغناطیسی

یکی از مسائل مهمی را که در طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ باید به آن توجه کرد تشعشع امواج الکترومغناطیسی از قطعات به فضای اطراف است. این مسأله در طراحی منابع تغذیه سوئیچینگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حتی اگر به سیم کشی و زمین کردن اصولی توجه زیادی داشته باشیم ولی به تشعشع امواج الکترومغناطیسی از قطعات سیستم توجه نکنیم، خواهیم دید که هنوز نویز زیادی در فضای اطراف منبع تغذیه‌ای که با روش سوئیچینگ کار می کند منتشر می شود و این میزان نویز می تواند در سیستمهای مخابراتی و الکترونیکی که در مسافت نزدیک در حال کار هستند بصورت مخرب ایجاد تداخل امواج الکترومغناطیسی کند.

عمل کلیدزنی در رگولاتورهای با فرکانس زیاد می تواند نویز با هارمونیکهای پر قدرت در رنج فرکانسی VHF تولید کند. بسته های قطعات مدار نمی توانند از تشعشع امواج با فرکانس بالای الکترومغناطیسی جلوگیری نمایند و فرکانسهای رادیویی که در فضا براحتی منتشر می شوند، در باندهای رادیویی و تلویزیونی و حتی ماکروویو ایجاد تداخل مخرب می کنند. برای از بین بردن این مشکل باید اطراف قطعات را با پرده های فلزی محافظ که دارای زمین الکتریکی هستند و کاملاً آب

بندی شده اند پوشاند. تا از تشعشع امواج الکترومغناطیسی آنها جلوگیری شود و حتی هیت سینک‌های قطعات نیز بایستی که زمین الکتریکی شوند.

### ۳-۵- پرده‌ی فلزی

از بین بردن میدانهای الکتریکی خیلی ساده است. میدان فلزی را می توان با یک شیلد فلزی با استفاده از مکانیزم انعکاس و زمین کردن آن در خارج از محفظه شیلد شده از بین برد. اما میدانهای مغناطیسی که اطراف ترانسفورمرها ایجاد می‌شوند بسختی از بین می روند. اساسی ترین روش شیلد کردن میدانهای مغناطیسی، استفاده از شیلد مغناطیسی جذب کننده می‌باشد. افزودن خاصیت مغناطیسی به صفحه استیل سالم یکی از راههای زیاد کردن پرمابیلیته است و همچنین می توان از موادی مانند آلیاژ آهن و نیکل نیز به این منظور استفاده کرد. این روش‌ها باعث می شود که میدانهای مغناطیسی اطراف سیستم تا حد زیادی کاهش یابد. استفاده از جعبه های فلزی برای از بین بردن نویز به خنک سازی سیستم نیز کمک زیادی می‌کند. اثر شیلد کردن سیستم توسط پرده‌های مشبک به ضلع  $l$  و قطر  $d$  و ضخامت  $c$  از رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$(1) S = (c^2 \cdot \log(l^2 / d^2) + 3) / (d^2 + 32) + 38$$

که در آن باید  $\lambda < \pi 2d$  باشد و  $\lambda$  طول موج فرکانسی است که می خواهیم تشعشع آنرا محدود کنیم. مقدار  $S$  بر حسب دسیبل بیان می شود.

### اندازه گیری و استانداردهای معتبر درباره تداخل امواج الکترومغناطیسی

معمولاً میزان نویز را در خارج از جعبه های محافظ منابع تغذیه سوئیچینگ اندازه گیری می کنند. این اندازه گیری توسط یک دستگاه طیف نگار یا Spectrum Analyzer انجام می شود و می تواند

اندازه هارمونیک‌های نویز را که در فضا و در اطراف منبع تولید نویز دریافت می‌کند، به ما نشان دهد.

امروزه ارگانهای مختلف بین‌المللی دارای استانداردهای گوناگونی در محدودسازی نویز در اطراف منابع تغذیه سوئیچینگ هستند. عموماً طراحان منابع تغذیه سوئیچینگ با توجه به نوع کاربرد منابع تغذیه سوئیچینگ که آن را طراحی می‌کنند و نیز کشور مورد نظر که منابع تغذیه سوئیچینگ طراحی شده در آنها بکار گرفته می‌شود، از این استانداردها پیروی می‌کنند و طراحی خود را با توجه به این استانداردها انجام می‌دهند. از این گونه از استانداردها می‌توان در بریتانیای کبیر به BS 800 و در ایالات متحده آمریکا به FCC و در آلمان به VDE 0871 و همچنین استاندارد مورد تأیید اکثر کشورهای یعنی CISPR یا Comité International Special des Perturbations Radioélectrique اشاره کرد. این استانداردها محدودیت‌هایی را برای هدایت نویز بین ورودی و خروجی منابع تغذیه که دارای عملکرد سوئیچینگ هستند تعیین می‌کنند. درجه بندی محور عمودی این نمودار، بر حسب  $\text{dB}\mu\text{V}$  می‌باشد. بنابراین  $60\text{dB}\mu\text{V}$  در اصل همان  $1\text{mV}$  است. اکثر استانداردهای بین‌المللی میزان ولتاژ نویز را در محدوده باند فرکانسهای رادیویی در ترمینالهای منابع تغذیه سوئیچینگ، در بالاتر از  $150\text{KHz}$  به کمتر از  $54\text{dB}\mu\text{V} +$  یا  $500\mu\text{V}$  محدود می‌کنند.

#### ۵- نتیجه گیری

ز آنجایی که منابع تغذیه سوئیچینگ بعنوان منابع قوی تولید امواج الکترومغناطیسی هستند، لذا باید برای رفع آن تدابیری اندیشید. کاهش این پدیده باعث ایجاد امنیت سیستمهای مخابراتی و الکترونیکی در مقابل نویز شده، ولی هزینه زیادی را برای تولید منبع تغذیه به خود تعلق می‌دهد. پس طراح منبع تغذیه با توجه به محدودیت‌های ابعادی و هزینه منبع تغذیه سوئیچینگ و نوع کاربرد و شرایط محیطی باید طرح مناسبی را ارائه نماید.

## فصل پنجم

تأثیر میدانهای الکترومغناطیسی ۵۰ هرتز بر جنین تخم‌مرغ، قبل و یا در حین

انکوباسیون

چکیده: (۱۷)

با توجه به رشد جنین در دو مرحله (قبل از تخمگذاری و پس از تخمگذاری) و وقفه کوتاهی که بین این دو مرحله وجود دارد، جنین جوجه بعنوان نمونه خوبی برای بررسی اثر میدانهای الکترومغناطیسی بر سلول زنده (فعال و غیرفعال) معرفی می‌شود. اثرات میدانهای مغناطیسی متغیر (۵۰ هرتز با شدتهای  $6/8 \pm 0/15, 7/5 \pm 0/15$  میلی تسلا) بر جنین جوجه طی دو مرحله، قبل از انکوباسیون و همزمان با شروع دوره رشد پس از تخمگذاری، مورد مطالعه قرار گرفت. تخم‌مرغها به چهار گروه تقسیم شدند: گروه اول، گروه تجربی A، تخم‌مرغهایی که در ۲۴ ساعت اول انکوباسیون در معرض میدان قرار داشتند. گروه دوم، گروه تجربی B، نمونه‌هایی که به مدت ۲۴ ساعت قبل از انکوباسیون در معرض میدان قرار گرفته بودند. گروههای سوم و چهارم به ترتیب گروه سم و کنترل در نظر گرفته شدند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میدان مغناطیسی باعث افزایش ناهنجاری و مرگ و میر در دو گروههای تجربی می‌شوند. که این افزایش فقط در گروه B با شدت  $7/5 \pm 0/15$  میلی تسلا در مقایسه با گروه کنترل و شم مغنی‌دار بود.



در حال حاضر کشور ما یکی از کشورهای در حال پیشرفت، توسعه و صنعتی شدن است. یکی از آلودگیهای احتمالی ناشی از توسعه و صنعتی شدن که ممکن است برای سلامت محیط زیست خطرآفرین باشد، میدانهای مغناطیسی و الکترومغناطیسی ناشی از دکلهای فشار قوی برق، خطوط نیرو، جعبه‌های بزرگ تقسیم برق و وسایل الکتریکی موجود در کارخانجات، مؤسسات، منازل و ... می‌باشد. این مسئله یکی از نکات مهمی است که هنگام توسعه شهر و شهرسازی، در انتخاب جایگاه احداث واحدهای صنعتی و تولیدی باید به آن توجه شود. لذا، در تعیین محل‌های مسکونی یا محل‌های پرورشی حیوانات (دامداریها و جوجه‌کشی‌ها و ...) باید به خطرات احتمالی تهدید کننده سلامت افراد و موجودات زنده توسط این نوع آلودگی توجه داشت. علاوه بر موارد ذکر شده، امروزه نیز میدانهای مغناطیسی خاصی کاربردهای درمانی و تشخیصی طبی دارند. بنابراین شناخت بیشتر این میدانها و اثر آنها بر موجودات زنده و بررسی خطرات احتمالی و یا مزایای آن، گاهی در جهت افزایش آگاهی‌های پایه‌ای لازم برای توسعه اقتصادی و صنعتی شدن اصولی می‌باشد.

بطور کلی بیوالکترومغناطیس، مطالعه اثرات میدانهای الکترومغناطیسی بر موجودات زنده می‌باشد. در سال ۱۹۶۰، پژوهشگران روسی اعلام کردند که کارگران خطوط فشار قوی از سردرد و خستگی و کوفتگی رنج می‌برند و میل جنسی آنها نیز کاهش یافته.

وریتمر در سال ۱۹۷۹ اعلام نمود که میدانهای تولید شده توسط خطوط انتقال نیرو، باعث ایجاد لوسمی در کودکان می‌شود. یک سال بعد این پژوهشگر تحقیقات خود را روی افراد بالغ مبتلا به لوسمی، در ارتباط با میدانهای مغناطیسی (حاصل از خطوط نیرو) نزدیک منازل پیدا نمود.

مطالعات کلینکی دیگری که روی انسان انجام گرفت نشان داد زنان حامله‌ای که در معرض پایانه‌های تصویری ویدیوئی (VDT)<sup>۱</sup> قرار می‌گیرند و یا زنانی که در کارخانه‌های صنایع الکترونیک، مخصوصاً رادیو و تلویزیون کار می‌کنند، افزایش معنی‌داری در میزان سقط خودبخودی نشان می‌دهند.

<sup>۱</sup>-Video display terminal (VDT)

همچنین با بررسی اخیر که در فنلاند به عمل آمد، مشخص شد که کارگران خطوط انتقال نیرو افزایش معنی‌داری در میزان ناهنجاریهای لنفوسیت داشتند، بعلاوه ناهنجاریهای کروموزومی در سلولهای در حال تقسیم آنها دیده شد. بعلاوه خطر افزایش سرطان خون و سایر انواع سرطانها در بین افرادی که در معرض میدانها الکترومغناطیسی شغلی قرار می‌گیرند. مشاهده شده است.

جنبه‌های درمانی امواج الکترومغناطیسی پالسی باعث افزایش استخوانزایی و ترمیم زخم می‌شوند. همچنین تکثیر سریع و افزایش رشد نیز از اثرات تابش کوتاه مدت می‌باشد، بطور کلی تأثیرپذیری یک موجود از یک میدان مغناطیسی زمین و همچنین ویژگیهای موجود زنده از جمله اندازه، شکل و نیز ارتباط آن را (از لحاظ الکتریکی) با زمین می‌باشد. (۱۷) و (۱۴)

در سالهای اخیر گزارشات زیادی (اغلب متفاوت و حتی متناقض) در مورد اثرات بیولوژیکی و مکانیسمهای فرضی مربوط به عملکرد میدانها الکترومغناطیسی با فرکانسهای بسیار پائین (-ELF EMF) اعلام شده است. اکثر این گزارشات نشان داده‌اند که قرارگیری در معرض میدان منجر به القاء ناهنجاریهای جنینی می‌شود. بررسیهای انجام شده در مورد اثرات امواج الکترومغناطیسی ۵۰ تا ۱۰۰ هرتز بر روی جنین گونه‌های مختلف جانوری (ماهی، جوجه، حشرات، توتیای دریایی، موش صحرائی و موش خانگی) نشان می‌دهد که مراحل اولیه تکوین جنینی، نسبت به اثرات میدانهای مغناطیسی حساستر است. در بعضی دیگر از تحقیقات اشاره شده است که درصد مرگ و میر و جنینهای ناهنجار گروههای قرار گرفته در معرض میدان با گروههای کنترل و شم برابر می‌باشد.

حتی اگر پژوهشهای انجام شده در این زمینه، اثرات و عوارض مضر قابل توجهی را برای میدانهای الکترومغناطیسی اعلام نکرده باشند، اکثر گزارشات نشان می‌دهند که قرارگیری در معرض میدان مغناطیسی می‌تواند ناهنجاریهای تکوینی را در جنینها القاء کند. که البته همانطور که قبلاً ذکر

شد بسته به خصوصیات از جمله فرکانس، شدت میدان، شکل موج و حتی شدت میدان زمین و ویژگیهای موجود زنده اثرات متفاوتی را ایجاد می‌کند.

در اکثر مطالعات انجام شده بر روی تخم‌مرغ نطفه‌دار، جنینهای جوجه را طی ۴۸ ساعت اول انکوباسیون در معرض میدان مغناطیسی قرار داده‌اند و در پایان همین دوره آنها را از پوسته تخم‌مرغ خارج کرده و مورد مطالعه و بررسیهای مورفولوژی قرار داده شدند. در این تحقیق، تخم‌مرغهای نطفه‌دار به مدت ۲۴ ساعت قبل و یا همزمان با شروع انکوباسیون در معرض میدان الکترومغناطیسی قرار داده شد سپس به انکوباتور با شرایط استاندارد (درجه حرارت C و رطوبت  $38 \pm 0/5^\circ$  انتقال داده شدند و در پایان روز نهم انکوباسیون از پوسته تخم‌مرغ خارج شدند. و مورد مطالعه مورفولوژی قرار داده شدند و بدین ترتیب اثراتی که میدان بر جنین داشته، اما برای آشکار شدن آنها احتیاج به زمان طولانی‌تری دارد نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

هدف از این مطالعه این است که: با توجه به اینکه مرغداریه‌ها و دکل‌های تقویت کننده برق معمولاً در حومه و اطراف شهر واقعند، آیا برای جلوگیری از خطرات احتمالی ناشی از میدانهای ایجاد شده توسط این بخشها، نیازی در تعیین جایگاه برای این دو بخش احساس می‌شود یا نه؟

### شرح تحقیق

در این تحقیق از ۲۴۶ عدد تخم‌مرغ تازه نطفه‌دار نژاد white leghorn استفاده شد که این تخم‌مرغها از مرغداری ایران-آلمان (وابسته به بنیاد مستضعفان، تهران، کیلومتر ۱۵، جاده مخصوص کرج، خیابان داروپخش) تهیه شد. ۱۱۱ عدد تخم‌مرغ نطفه‌دار در معرض میدان مغناطیسی (گروه تجربی) قرار گرفت و ۱۳۵ عدد (گروه کنترل و شم) در معرض میدان مغناطیسی قرار نگرفتند. تخم‌مرغها ۲۴ ساعت قبل از انکوباسیون بصورت افقی (به موازات محور طول) قرار داده می‌شدند، بطوری که نوک باریک آنها بطرف جنوب قرار می‌گرفت. تخم‌مرغهای مورد استفاده به چهار گروه تقسیم شدند: گروه اول: گروه تجربی A، شامل تخم‌مرغهای نطفه‌داری که طی ۲۴ ساعت اوانکوباسیون (درجه حرارت  $38 \pm 0/5^{\circ}C$  و رطوبت کافی) در معرض میدان قرار داده شدند. گروه دوم: گروه تجربی B، شامل تخم‌مرغهای نطفه‌داری که به مدت ۲۴ ساعت قبل از آغاز انکوباسیون (درجه حرارت  $15 \pm 1^{\circ}C$ ) در معرض میدان قرار داده شدند. تخم‌مرغهای نطفه‌داری که به مدت ۲۴ ساعت در درون سولنوئید بدون میدان مغناطیسی و با شرایط مشابه (حرارت و رطوبت) گروه تجربی A و B قرار داده شدند، بعنوان گروههای شم A و B در نظر گرفته شد. و گروه چهارم یا کنترل تخم‌مرغهایی که برای رشد و نمو مستقیماً درون انکوباتور قرار داده شدند. هر دو گروه تجربی A و B تحت تأثیر میدانهای  $6/8 \pm 0/15$  و  $7/5 \pm 0/15$  میلی‌تسلا با فرکانس ۵۰ HZ قرار داده شدند و پس از ۲۴ ساعت برای رشد کردن به انکوباتور انتقال داده شدند. پس از ۹ روز انکوباسیون، جنینهای ۹ روزه هر چهار گروه از پوسته تخم‌مرغ خارج شدند، توسط تثبیت کننده فرمالین ۸٪ تثبیت شدند و سپس جنینها از نظر میزان مرگ و میر و ناهنجاریها مورد بررسی قرار گرفتند. و جنینهای غیرطبیعی شامل دو گروه شدند:

گروه ۱- جنینهای مرده: جنینهایی که قبل از روز نهم انکوباسیون مرده بودند ۲- جنینهای زنده ناهنجار: که در یک یا چند مورد از موارد ذکر شده فوق دچار نقص بودند. (شکل کلی جنین، سینه بودن حفره شکمی یاسینه‌ای، میزان تکوین چشم و تحلیل رفتن دم)

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نیز، تأثیر مثبت میدانهای الکترومغناطیسی با فرکانس پایین را بر ناهنجاری‌زایی و کشندگی جنین جوجه تأیید میکند. نتایج در جدولهای ۱ و ۲ پیوست. بنابراین بطور کلی می‌توان گفت نه تنها دستگاههای جوجه‌کشی در مرغداریها نباید در معرض میدانهای الکترومغناطیسی قرار گیرد بلکه حتی جایگاه ذخیره تخم‌مرغهای نطفه‌دار به منظور تولید جوجه نیز نباید در معرض آن واقع باشد<sup>۳</sup>

---

۳- سیزدهمین کنفرانس بین المللی برق 13<sup>th</sup> international Power-system coferece  
خدیجه شریف نیا - مریم شمس لاهیجانی - حسن رجبی دانشگاه شهید  
بهشتی - تهران

## فصل ششم

### میدانهای الکترومغناطیسی ELF و سلامت انسان [۱۸]

از یکصد سال قبل میدانهای الکترومغناطیسی (EM) با فرکانس بسیار پائین (ELF) ساخت بشر بویژه در فرکانس ۵۰/۶۰ هرتز در خطوط انتقال انرژی برق استفاده شد، امروزه با توسعه الکتریکی اهمیت این میدانها نسبت به میدانهای طبیعی بیشتر شده است. به سبب آن که درون تمام ارگانیزمهای زنده جریان الکتریکی و میدانهای الکتریکی با منشاء داخلی وجود دارد که در مکانیسمهای پیچیده کنترل فیزیولوژیکی نظیر فعالیت عصبی، عضلانی، یا ترشح غدد، فعالیت غشاء سلول، رشد و تکامل و ترمیم بافتها نقش دارند. لازم است ویژگیهای مصنوعی آثار احتمالی در سیستمهای بیولوژیکی مورد بررسی قرار گیرند.

تخم مرغ	شدت میدان میلی تسلا		شماره A	کنترل
	(۶/۸±۰/۱۵)	(۷/۵±۰/۱۵)		
تعداد کل استفاده شده	۳۶	۱۷	۵۰	۶۵
درصد جنینهای نرمال	۶۳/۹	۵۸/۹	۸۰	۸۰
درصد جنینهای زنده و ناهنجار	۱۹/۴	۱۷/۶	۴	۷/۷
درصد مرگ و میر	۱۶/۷	۲۳/۵	۱۶	۱۲/۳
سطح معنی دار بودن	۰/۹	۰/۸		

جدول ۱. درصد مرگ و میر و ناهنجاریهای ایجاد شده در گروههای تجربی A و کنترل و شش و مقایسه آنها با یکدیگر

تخم مرغ	شدت میدان میلی تسلا		شماره B	کنترل
	(۶/۸±۰/۱۵)	(۷/۵±۰/۱۵)		
تعداد کل	۳۷	۲۱	۲۰	۶۵
درصد جنینهای نرمال	۵۹/۴	۳۸/۱	۷۵	۸۰
درصد جنینهای زنده و ناهنجار	۱۶/۲	۴/۸	۵	۷/۷
درصد مرگ و میر	۲۴/۳	۵۷/۱	۲۰	۱۲/۳
سطح معنی دار بودن	۰/۱۷	۹/۳E-۳ *		

جدول ۲. درصد مرگ و میر ناهنجاریهای ایجاد شده در گروههای تجربی B و کنترل و شش و مقایسه آنها با یکدیگر (\* اختلاف معنی دار)

### استانداردهای حدود تابش: [۱۳] و [۱۸]

به جهت محدود ساختن تابش‌های EM و پیشگیری از آسیب‌های احتمالی حدود مجاز استاندارد از طرف INIRC توصیه گردیده است (جدول ۱).

الف) مدت تابش با میدان  $10 \frac{kv}{m}$  الی  $30 \frac{kv}{m}$  از رابطه  $t < \frac{80}{E}$  محاسبه می‌شود که t مدت کار روزانه برحسب ساعت و E شدت میدان الکتریکی برحسب  $\frac{kv}{m}$  است.

ب) بیشینه تابش ملی ۲ ساعت کار روزانه.

ج) این محدودیت شامل فضاهای آزاد است که افراد عادی جامعه به دلیل موجه مدت مدیدی از روز را در آن می‌گذرانند.

د) این مقادیر می‌تواند فراتر از حد باشد به شرط آنکه مدت تابش به چند دقیقه در روز محدود گردد تا احتمال بروز آثار غیرمستقیم وجود نداشته باشد.

جدول ۱- خلاصه حدود مقادیر توصیه شده برای شاغلین و افراد عادی در فرکانس (۵۰/۶۰).

نوع تابش	شدت میدان الکتریکی موثر (kv/m)	چگالی فلوی مغناطیسی موثر (mT)
شغلی	۱۰	۰/۵
در مدت کوتاه	۳۰ (الف)	۵ (ب)
برای اندامها	-	۲۵
افراد عادی جامعه:	۵	۰/۱
برای چند ساعت در روز (د)	۱۰	۱

### استانداردهای حریم خطوط انتقال برق در ایران: [۱۳]

در ایران از سال ۱۳۴۷ از طریق دولت حریم‌هایی برای خطوط انتقال برق با ولتاژهای مختلف

تعیین گردیده است (جدول ۲)

جدول ۲: استانداردهای حریم خطوط انتقال و توزیع قدرت در ایران.

حریم ولتاژ (kv)	حریم درجه یک (m)	حریم درجه دو (m)
۱ تا ۲۰	۳	۵
۳۳	۵	۱۵
۶۳	۱۳	۲۰
۱۳۲	۱۵	۳۰
۲۳۰	۱۷	۴۰
۴۰۰ و ۵۰۰	۲۰	۵۰
۷۵۰	۲۵	۶۰

### اندازه‌گیری شدت میدانهای ELE

#### روش تحقیقی

در این تحقیق خطوط انتقال قدرت با ولتاژ ۱۳۲kv و ۶۳kv و فرکانس ۵۰kv مورد مطالعه

قرار گرفته‌اند.

شبکه انتقال و توزیع الکتریکی در شهرستان مشهد دارای دو حلقه انتقال (اصلی) فشار قوی

شمالی و جنوبی است به ترتیب این دو رینگ، نیروگاههای اطراف شهر و پست‌های ۶۳kv و ۱۳۲kv

مستقر در سطح شهر را بهم وصل می‌نماید.

از جمله مناطقی که در آنها مسئله تجاوز به حریم مشاهده شد و از نظر شدت میدانهای

الکتریکی و مغناطیسی مورد ارزیابی قرار گرفته بودند می‌توان به منطقه طرق (روستای طرق)،

مناطق از شهرک امام حسین (قلعه ساختمان) و مناطقی از جاده سیمان و منطقه نودره (انتهای آب



و برق) اشاره کرد. مقادیر اندازه‌گیری شده، نقشه تقریبی این محل‌ها همراه با بار خط در زمان اندازه‌گیری شده و نیز ماکزیمم بار هر خط در سال ۱۳۷۴ به تفکیک در ادامه بحث ارائه شده است. نکته قابل تأمل اینکه اندازه‌گیری اکثراً در ساعاتی از روز که بار خط در حد ماکزیمم (پیک) نبوده، صورت گرفته است. بنابراین بایستی خاطر نشان کرد هنگامی که بار خط به مقدار ماکزیمم مقدار برسد، شدت میدان EM بسیار بیشتر از مقادیر ارائه شده خواهد بود. دستگاهی که برای تعیین شدت میدانهای EM مورد استفاده قرار گرفت، دارای مشخصات زیر است.

نام وسیله:

HI-602ELF Sensor and MI-3600 survey meter

ساخت شرکت HOLADAY

نتایج بعضی از اندازه‌گیریها:

نام محل: منطقه امیرآباد (قلعه ساختمان) - شهرک امام حسن مجتبی

اهمیت: در این منطقه حدود ۲۰۰ باب واحد مسکونی و تجاری در حریم و بعضاً زیر خطوط

انتقال قدرت احداث شده است (شکل ۱)

نام خط: رضائی - شریعتی، ولتاژ خط: ۶۳KV

نوع خط: ۱ باندل، فاصله خط تا سطح زمین ۸/۵m - بار خط در لحظه اندازه‌گیری: سمت چپ

۴MW سمت راست ۱۰MW

بار ماکزیمم خط: ۲۴MW در تاریخ ۷۴/۷/۲۵ ساعت ۲۰، ماکزیمم بار نامی خط ۵۵MW

نقطه A: منزل مسکونی آقای خیرخواه - منزل درست زیر خط انتقال قرار دارد، تعداد اعضای

خانواده ۷ نفر و مدت اقامت کمتر از یک سال است.

طبقه اول (در ارتفاع ۱۷۰cm از سطح زمین):

$$H = 450 \frac{mA}{m}, E_1 = 3 \frac{kV}{m}$$

$$H = 480 \frac{mA}{m}, E = 2.5 \frac{kV}{m}$$

روی سطح زمین:

طبقه دوم روی بالکن (فاصله کف بالکن تا خط انتقال ۴۹۰ cm)

نقطه مورد اندازه‌گیری در ارتفاع ۱۷۰ cm از کف بالکن:

$$H \max = 2 \frac{A}{m}, E \max = 10 \frac{kV}{m}$$

نقطه B: منزل مسکونی آقای مرادعلی - در این منزل تصویر تلویزیون برفک دارد،

$$H = 550 \frac{mA}{m}, E = 2.8 \frac{kV}{m} \text{ داخل حیاط:}$$

$$H = 550 \frac{mA}{m}, E = 2.3 \frac{kV}{m} \text{ داخل اتاق خواب:}$$

$$H \max = 850 \frac{mA}{m}, E \max = 4 \frac{kV}{m} \text{ کنار پنجره اتاق پذیرایی نزدیک به خط:}$$

و همچنین اندازه‌گیری‌هایی در مناطق: نیروگاه و پست ۱۳۲/۶۳/۲۰ KV شریعتی شکل ۲؛ پست

۱۳۲/۶۳/۲۰ KV خواجه ربیع؛ پست ۶۳/۲۰ KV امام رضاع) شکل ۳؛ انتهای کوی آب و برق -

نودره صورت گرفت و نتایج حاصل شد.

### نحوه انتخاب و گروه‌بندی جامعه تحت مطالعه

از نظر مطالعات اپیدمیولوژیکی، بدلالی عدیده از جمله جنس، سن، سابقه کار، وضعیت

اقتصادی و غیره نمونه‌های مورد مطالعه این تحقیق از بین کارکنان شاغل در شرکت برق منطقه‌ای

خراسان که از نظر فاکتورهای فوق جامعه نسبتاً همگون هستند به صورت ذیل اختیار گردیدند:

گروه شاهد: (Control Group) - از کارکنان شرکت برق مشهد که در قسمت اداری و دور

از میدان اشتغال به کار داشتند.

گروه آزمون (Sample group) - از کارکنان فنی شرکت برق مشهد که به جهت شغلی تحت میدان می‌باشند، در نظر گرفته شدند. (میدان الکترومغناطیسی ۵۰Hz) «سپس سؤالاتی از داوطلبین صورت گرفت (جدول ۳ و نمودارهای ۱ الی ۳)».

### آزمایشات کلینیکی

از هر داوطلب گروههای آزمون و شاهد، با رعایت ۱۶-۱۴ ساعت ناشتا ماندن، به میزان CC۱۶ برای انجام تست‌های هورمونی (کورتیکول و فری‌تین)، بیوشیمیایی (گلوکز، اسید اوریک، پروتئین تام، آلبومین، گلوبولوبین، کلسترول، تری‌گلیسرید، (LDL-C CBC HDL-C LDL)، دریافت شد. فرم پرسشنامه توسط ۱۵۸ نفر تکمیل گردید که از این تعداد، ۱۲۷ نفر آنها جهت نمونه‌برداری و انجام آزمایشات مراجعه نمودند. از کل مراجعه کنندگان، تعداد ۵۸ نفر را افراد شاهد و ۶۹ نفر را افراد آزمون تشکیل می‌دادند. (جدول ۴ و ۵، نمودارهای ۴ الی ۶).

### بحث و تفسیر نتایج اندازه‌گیری شدت میدان در مشهد

نقاطی که شدت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال از حد مجاز بالاتر بوده است..

**نقطه A شکل ۱:** منزل مسکونی آقای خیرخواه که درست در زیر خط انتقال ۶۳KV قرار دارد، شدت میدان الکتریکی از حد مجاز ۱۰KV/m بالاتر بود. در کف بالکن این ساختمان ۴۹۰cm تا خط انتقال فاصله دارد. شدت میدان به بیش از حد مجاز شغلی ۵KV/m می‌رسد.

**نقطه B شکل 1:** منزل مسکونی آقای مرادعلی، در این محل نیز شدت میدان در حد آستانه مجاز قرار داشت.

در نیروگاه و پست شریعتی (نقاط K و F در شکل ۲) و در کنار ترانسفورماتور ۱۳۲KV (نقطه G) بالاتر از حد مجاز استاندارد شغلی است.

در این پست، اندازه‌گیری‌ها نشان داد که دیوار آجریدر تضعیف شدت میدان الکتریکی نقش بسزایی دارد، در حالی که بر میدان مغناطیسی تأثیر چندانی ندارد.

(در پست کوهسنگی آزمایشی بر روی تأثیر قفسه فلزی (که توسط محققان ساخته شده بود) بر شدت میدان انجام گرفت که نتیجه مؤثری در برداشت، به عبارت دیگر میدان الکتریکی و مغناطیسی در داخل توری فلزی کاهش نداشته است.)

با توجه به مطالب بالا می‌توان با احتمال قریب به یقین اینطور نتیجه گرفت که در تمام نقاطی از شبکه انتقال که در داخل حریم درجه یک واقع می‌باشند، سلامت افراد در معرض خطر قرار دارد.

### پیشنهادات

رعایت مواد ذیل می‌تواند توسط پرسنل شاغل یا افراد عادی جامعه به عنوان راه حلی عملی برای کاهش هرچه بیشتر تابش‌گیری EM ملاک عمل قرار گیرد:

- رعایت حداکثر فاصله از منابع میدانها در موارد غیرضروری

در مواردی که کارکنان فنی لازم است تجهیزات، وسایل و خطوط انتقال را موقعی که انرژی‌دار هستند تعمیر نمایند از سرعت عمل کافی برخوردار باشند (اصل حداقل زمان تابش‌گیری).

آموزش مهارتهای شغلی و توجه به دستورالعمل‌های مربوط به نحوه استفاده از دستگاهها و

تجهیزات

عدم استفاده از تشک‌های الکتریکی در غیر موارد درمانی به صورت طولانی مدت به خصوص در

خردسالان.

- نکاتی که رعایت آنها توسط مسئولات شرکت برق می‌تواند در بهبود شرایط محیط کار و افراد

جامعه مثمر‌تر باشد:

استفاده از علائم خطر مناسب روی وسایل تولید کننده.

مشخص کردن ناحیه‌هایی که ورود به آنها برای عموم مردم یا کارکنان غیرمجاز است و کنترل ورود به این نواحی.

ممنوعیت مطلق ساخت‌وساز اماکن مسکونی و تجاری در حریم خطوط فشار قوی.  
حتی‌الامکان انتقال بناهای ساخته شده در حریم خطوط فشار قوی به خارج از آن.  
حتی‌الامکان استفاده از روش HVDC به منظور انتقال انرژی.

بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تاثیرات آن

جدول (۳) پردازش آماری حاصل از پرسشنامه بین گروههای آزمون و شاهد

فاکتور	میانگین		انحراف استاندارد		نتیجه آزمون		درصد اختلاف نسبی
	شاهد	آزمون	شاهد	آزمون	t-Val	p-Val	
تعداد فرزند پسر	۱/۶۷	۱/۱۳	۱/۷۹	۰/۹۷	۲/۱۲	۰/۰۲*	۳۲/۳۳
تعداد فرزند دختر	۱/۵۲	۱/۸۸	۱/۳۲	۱/۳۷	-۱/۳۷	۰/۱۴	۱۸/۰۸
سرگیجه	۰/۰۵	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۳۷	-۲/۱۵	۰/۰۳*	۶۸/۷۵
وزوزگوش	۰/۰۳	۱/۱۵	۰/۱۸	۰/۳۵	-۲/۴	۰/۰۲*	۹۷/۳۹
استرس	۰/۰۷	۰/۵۷	۰/۲۵	۰/۳۹۹	-۷/۶۲	.	۸۷/۷۲
سردرد	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۳۲	۰/۲۹	-۲/۳۶	.	۷۱/۲۰
تاری دید	۰/۰۹۸	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۲۳	-۲/۲۲	۰/۰۳*	۵۹/۱۶
آشستگی خواب	۰/۱۲	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۲۷	-۳/۱۵	۰/۰۰۲*	۶۳/۶۲
خشونت و عصبانیت	۰/۰۲۹	۰/۳۸	۰/۲۲	۰/۲۹	-۵/۳۱	.	۸۷/۱
ضعف در تمرکز حواس	۰/۰۳۳	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۲۲	-۲/۹۵	.	۸۶/۸
ضعف و خستگی	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۲۲	-۲/۷۲	۰/۰۰۷*	۶۸/۰
نابش لحظه‌ای نورانی	۰/۰۳۳	۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۳۱	-۱/۷۲	۰/۰۹	۷۰/۰
کاهش بویایی	۰/۰۱۶	۰/۰۲	۰/۱۳	۰/۱۹۶	-۰/۸۳	۰/۲۱	۶۰/۰
مشکلات تنفسی	.	۰/۰۵	.	۰/۲۳	---	---	۱۰۰/۰
احساس گرما و تب	.	۰/۰۳	.	۰/۱۶	---	---	۱۰۰/۰
درد عضلانی	۰/۰۳۳	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۲۵	-۰/۹	۰/۳۷	۵۲/۸۵
خواب آلودگی هنگام کار	۰/۰۳۳	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۲۹	-۱/۴۶	۰/۱۵	۶۳/۳
علائم فوق در زمان کار	۰/۲۶	۰/۸۸	۰/۵۰	۰/۳۳	-۵/۶۸	.	۲۷/۷۲

\* به مفهوم آنست که دو صفت مورد بررسی از جهت میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ دارای تفاوت معنی‌داری است.

• در مواردی که هیچ تغییری در داده‌ها روی نداده باشد، آزمون انجام نمی‌شود و متعاقب آن درصد اختلاف هر چند ناچیز باشد ۱۰۰٪ می‌شود.

جدول (۴) پردازش آماری حاصل از آزمایشات هورمونی و خون‌شناسی بین گروه شاهد با اموراتنقال و بهره‌برداری

آزمایش	میانگین		انحراف استاندارد		نتیجه آزمون		درصد اختلاف نسبی
	شاهد	بهره‌برداری	شاهد	اموراتنقال	t-Val <sup>@</sup>	p-Val <sup>#</sup>	
Corisol	۱۳/۲۱	۱۳/۱۲	۵/۷۳	۶/۲۲	۰/۱۰	۰/۹۲۲	۹/۶۰
Ferritin	۸۹/۸۷	۸۳/۱۴	۷۵/۸۸	۷۲/۰۲	-۱/۱۲	۰/۲۶۵	۷/۲۰
Hb	۱۴/۶۵	۱۴/۹۳	۱/۲۲	۱/۳۶	۰/۶۱	۰/۵۲۲	۱/۸۰
Hct	۴۲/۵۲	۴۱/۹۲	۲/۹۲	۳/۱۹	-۰/۶۰	۰/۵۵۲	۲/۳۰
WBC	۶۰۳۲/۲	۶۳۲۰	۱۳۲۳	۱۲۲۲/۰۲	۰/۶۷	۰/۵۰۳	۲/۵۰
RBC	۴۹۵۰۰۰	۲۹۱۰۲۳۸	۷۷۰۰۰۰	۷۸۰۷۰۹	-۰/۱۶	۰/۸۷۰	.
MCV	۸۷/۰۰	۸۹/۱۷	۳/۸۹	۲/۱۶	۱/۰۹	۰/۲۸۱	۱/۵۰
MCH	۳۰/۲۷	۳۱/۲۸	۲/۱۲	۱/۶۹	۱/۲۲	۰/۱۵۹	۲/۳۰
MCHC	۳۲/۶۳	۳۵/۳۹	۱/۸۵	۱/۱۲	۱/۲۶	۰/۲۱	۱/۰۰
Pt.	۲۱۴۳۸۰	۲۱۳۲۰۰	۷۳۲۸۰	۳۹۳۰۲	۰/۵۸	۰/۵۶۸	۸/۶۰
P.M.N.	۶۱/۱۰	۶۰/۲۰	۸/۲۳	۷/۰۹	-۰/۲۵	۰/۸۰۱	۵/۶۰
Lym.	۳۳/۲۸	۳۲/۲۰	۸/۲۸	۷/۵۳	۰/۲۰	۰/۶۸۹	۲/۷۰
Mono.	۲/۵۷	۲/۱۰	۲/۰۹	۱/۵۹	-۰/۶۸	۰/۲۹۷	۱/۵۰
Eosi.	۱/۱۳	۱/۱۰	۱/۲۰	۱/۱۹	-۰/۰۸	۰/۹۲۰	.

@ شاهد - اموراتنقال # شاهد - بهره‌برداری

\* به مفهوم آنست که دو صفت مورد بررسی از جهت میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ دارای تفاوت معنی‌داری است.

## بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تاثیرات آن

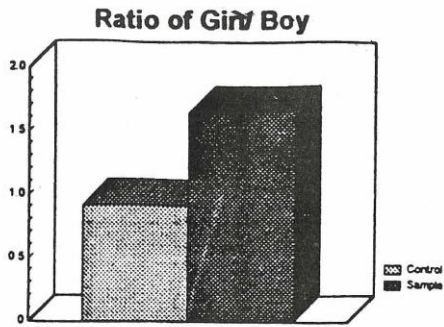
جدول (5) پردازش آماری حاصل از آزمایشات بیوشیمیایی بین گروه شاهد با گروههای اموراتنقال و بهره‌برداری

آزمایش	میانگین			انحراف استاندارد			نتیجه آزمون				درصد اختلاف نسبی	
	شاهد	اموراتنقال	بهره‌برداری	شاهد	اموراتنقال	بهره‌برداری	t-Val <sup>®</sup>	p-Val <sup>®</sup>	t-Val <sup>#</sup>	p-Val <sup>#</sup>		
Iron	۱۰۰/۰۰۶	۱۰۰/۰۰۱	۱۱۲/۰۰۱	۲۸/۹۰	۲۹/۹۳	۳۴/۳۶	۲/۳۵	۰/۰۲۲*	۱/۶۸	۰/۰۰۹۶	۱۸/۲۶	۹/۱۱۲
TIBC	۳۰۹/۱۹	۳۰۵/۰۷	۳۲۲/۳۳	۵۹/۷۳	۳۴/۲۳	۳۶/۳۸	-۰/۱۸	۰/۸۵۸	۰/۴۴	۰/۶۶۲	۱/۱۰	۱/۵۸
Glucose	۹۲/۹۳	۹۰/۳۰	۹۵/۷۶	۱۸/۵۲	۹/۹۲	۹/۹۵	۰/۶۰	۰/۵۵۴	۰/۲۹	۰/۷۷۰	۲/۴۳	۰/۸۶
UA	۵/۱۳	۴/۹۲	۵/۲۶	۰/۸۵۷	۱/۱۶	۱/۰۷	-۰/۶۹	۰/۴۹۱	۰/۶۸	۰/۴۹۹	۴/۰۹	۲/۴۷
T. pro.	۷/۸۸	۷/۸۸	۷/۷۹	۰/۵۱	۰/۳۸	۰/۲۹	-۰/۰۰	۰/۹۹۸	-۰/۸۸	۰/۳۸۲	۰	۱/۱۲
Alb.	۴/۹۹	۴/۷۹	۴/۹۸	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۵۸	-۱/۲۵	۰/۲۱۷	-۰/۱۸	۰/۸۵۹	۴/۰۰	۰/۲۰
Glob.	۲/۹۰	۳/۱۵	۲/۸۲	۰/۶۱	۰/۵۵	۰/۶۱	۱/۲۱	۰/۲۳۰	-۰/۷۰	۰/۴۸۷	۷/۹۳	۲/۷۵
T. Ch.	۱۹۸/۰۵	۱۷۹/۰۰	۲۱۲/۶۹	۴۹/۳۵	۳۰/۶۹	۶۷/۱۹	-۱/۳۷	۰/۱۷۷	۱/۲۱	۰/۲۳۲	۹/۶۱	۶/۸۸
TG	۱۵۵/۵۲	۱۳۷/۶۰	۱۹۲/۹۱	۱۱۱/۵۶	۶۰/۱۷	۲۰۹/۳۱	-۰/۷۷	۰/۲۴۴	۱/۱۲	۰/۲۶۹	۱۷/۹۵	۳۰/۲۰
HDL- c	۵۶/۵۰	۵۰/۳۰	۵۰/۷۹	۱۵/۰۸	۸/۵۹	۱۲/۶۷	-۱/۲۶	۰/۲۱۱	-۲/۰۲	۰/۲۶	۱۰/۹۷	۱۰/۱۰
LDL- c	۱۰۹/۹۵	۱۰۰/۵۰	۱۳۰/۸۶	۳۲/۲۸	۳۱/۱۹	۱۲۱/۵۱	-۰/۸۲	۰/۴۱۷	۰/۹۴	۰/۳۵۳	۸/۲۱	۱۵/۹۷

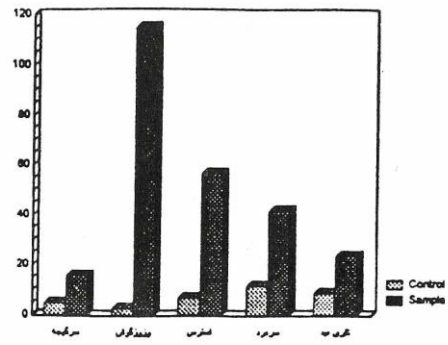
® شاهد - اموراتنقال      # شاهد - بهره‌برداری

\* به مفهوم آنست که دو صفت مورد بررسی از حیث میانگین‌ها در سطح ۰/۰۵ دارای تفاوت معنی‌داری است.

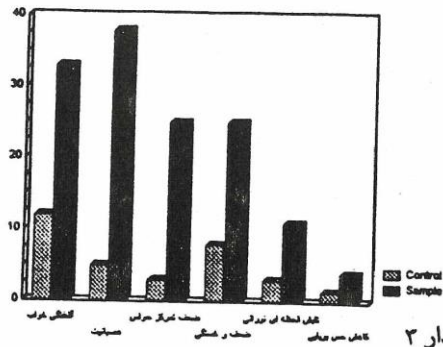
بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تاثیرات آن



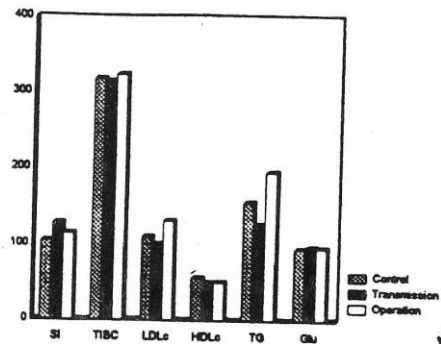
نمودار ۱



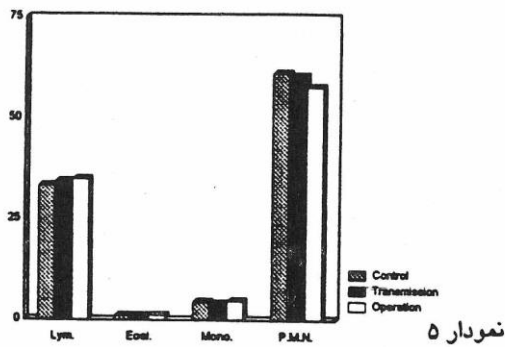
نمودار ۲



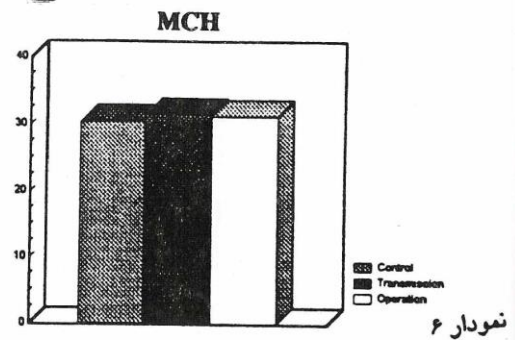
نمودار ۳



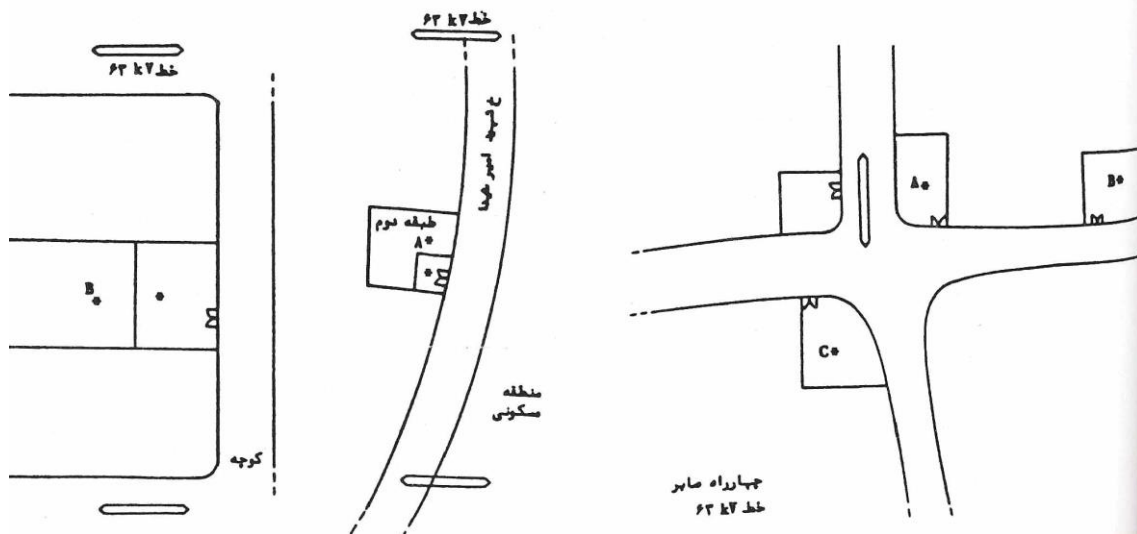
نمودار ۴



نمودار ۵



نمودار ۶







## فصل هفتم

اثر امواج الکترومغناطیسی در فرکانسهای قدرت بر انسان.

### مقدمه

می دانیم که دو میدان EM بر همدیگر عمود می باشند یعنی داریم:

$$P = E.H.\sin 90 = E.K$$

و همچنین می دانیم که:  $\vec{E} \approx \frac{V}{d}$ ،  $\vec{H} \approx \frac{i}{d}$

لذا واحد دانسیته برای انرژی ولت بر مترمربع خواهد بود.

به موجب رابطه ماکس پلانک  $E=H.f$  می توان نشان داد که هرچه فرکانس زیادتر باشد انرژی

بیشتر است و لذا هرچه طول موج کوچکتر باشد قدرت نفوذ و تخریب آن بیشتر است.

(h ثابت پلانک و f فرکانس می باشد).

### استانداردهای ایمنی [۱۳] و [۱۴]

در کشور شوروی سابق استاندارد Gost 12.1.006-76 را با باند فرکانس و زمان پرتوگیری

در نظر می گرفته و مقادیر مجاز را برای افراد در برابر پرتوها پیشنهاد میکنند.

در ایالات متحده آمریکا، استاندارد ملی یا 1-1974 و ANSI c85 توصیه شده است. امواج

فشار قوی با فرکانسهای قدرت (در آمریکا 60 هرتز، در اروپا و اغلب کشورهای آسیایی 50 هرتز

می باشد) دارای یک دانسیته انرژی بوده که ماکزیمم آن با این رابطه تعریف می شود:  $P=10$

MW/cm<sup>2</sup> و از آن بالاتر به سمت پرتوگیری ناخواسته سری می کند و با تدابیر حفاظتی ایمنی باید از

پرتوگیری اضافی اجتناب نمود.

این تدابیر عبارتند از: پوشاک حفاظتی فردی، عینک (با شیشه سربدار)، لباسهای سربدار

گوش بند و کلاه خود و کفشهای عایق و ... افزون بر آن باید از مواد خاصی از سه مسئله :

۱- زمان (حداقل)

۲-فاصله (هرچه بیشتر بهتر)

۳-حفاظ‌گذاری shilding استفاده نمود.

### بحثهای شورانگیز

عناوین مجلات و روزنامه‌های امروزی دلیل بر آن است که تاکنون به این پرتو ناخواسته، کمتر توجه شده است و باید فکر اساسی شود. عناوین چون:

جنک اکولوژی با آلودگی انرژی الکترومغناطیسی - میدانهای الکتریکی خیلی بالا و ...  
تکنولوژی الکتریکی بسیار پیشرفته، امروزی که تولید کننده میدانهای E و H قوی با فرکانس قدرت می‌باشد، در سالهای اخیر بطور چشمگیری گسترده شده است و این گسترش باعث افزایش آثار میدانها در زندگی بشر گردیده است. مولدهای برق امروزی که می‌توانند ولتاژهای 22KV و 63KV و 1500KV متناوب و ندرتاً تا 400KV برق مستقیم تولید نمایند، در قسمتهای مختلف زندگی روزمره بشر بکار گرفته می‌شوند، سؤال اینجاست که آیا این حوزه‌های ساخت بشر، در بهداشت و سلامت او، بطور زودرس یا دیررس آثار سوء دارند یا خیر؟

### بررسی پارامترهای EM در بدن: (۱۵)

اگر فردی کاملاً به زمین وصل نشده باشد و در یک میدان الکتریکی E قرار گیرد یک پتانسیل در بدنش تشکیل می‌شود. (این پتانسیل برای شخصی که کاملاً به زمین وصل شده باشد صفر است)  
آزمایشهای متعدد نشان می‌دهد که مقاومت یک شخص بین 15 کیلو اهم با کفشهای چرمی و 100 مگا اهم با کفشهای ته لاستیکی تغییر می‌کند. باید بخاطر داشت که همزمان با این مقاومت اهمی یک مقاومت کاپاسیتو بین کف پا و زمین ایجاد می‌گردد، که مقدارش 150-300PF است. جریان مربوط به این میدانها اندازه‌گیری شده است، برای کسی که ایستاده است، جریان جابجایی در فرکانس 50HZ برابر 14 آمپر برای 1KV/m است. اگر در میدانهای 10kv/m واقع شود این جریان برابر 140A خواهد شد.

جریان حاصله از این میدانهای مغناطیسی، همانگونه که اشاره شد با  $i$  و  $d$  مربوط می‌شود و میدانهای مغناطیسی  $H$  در بدن نفوذ کرده و جریانهای فوکو را القا می‌نماید.

-برعکس جریان هدایت (که همان جریان جابجایی است و در بدن مسیری اصلی و معین را دارد)

جریانهای القائی، در درون بدن به گردش در می‌آیند و لذا مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیستند. مسئله مهم دیگری که بر روی قفسه سینه و سر اثر می‌کند IEEG و ECG می‌باشد که قابل تعمق است و به راحتی بوسیله ترموگرام قابل رؤیت می‌باشد.

### آثار و سندرومهای حاصل

تحقیقات Rakv Asanova بر روی کارگرانی که در محوطه‌های 400-500kv کار می‌کردند نشان داده که عوارضی در آنها بارز است از آن جمله نامناسب کار کردن سیستم عصبی بالاخص آثار نورااستنی ظاهر می‌شود، در موگرافیهای مثبت، عدم پایداری فشار خون، رعشه خفیف انگشتان، سردرد خفیف، خستگی، آرام و سبک بخواب رفتن، پرفشاری و کم‌فشاری خون، جریان نامنظم قلب و تغییرات کمی و کیفی در خون.

در سال 1985، IEEC-Spectrum در موضوع اثر حوزه‌های کابل انتقال قدرت بر سلامت انسان نوشت، انرژی پرتوهای با فرکانس بسیار کم، باعث شکستگی اتصالات اتمی و مولکولی می‌شوند. در صورتی که در فرکانسهای بالا اثر حرارتی مورد توجه است ولی در فرکانس 60هرتز اثر حرارتی حاصل در بدن انسان حدود یک وات در هر کیلوگرم است.

اثر امواج الکترومغناطیسی روی شیردهی گاوها و حیوانات دیگر.

-وقتیکه گاوهای شیرده در منطقه فشار قوی چرا می‌کنند، شیر آنها کم می‌شود، این نتیجه حاصل بوسیله کشاورزان صورت گرفته است و بصورت تجربی می‌باشد.

-در مجاورت کابل فشار قوی در کندوها، عسل نسبتاً کمتری تهیه می‌شود.

## بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تأثیرات آن

-در آمریکا طبق قرارداد یک مؤسسه، باید مقدار معینی از شیر از یک روستا تهیه می‌شد، تصادفاً خط 400KV را از بالای سر مزرعه رد کردند و شیر گاوان به 1.3 تقلیل یافت.

-کابل D.C در زیر دریاها در سواحل نیویورک مسیر ماهیها را از چندصد متر عوض می‌کرد.

-پرندگان قطبی که از شوروی وارد مرزهای ایران می‌شوند، زمانیکه از بالای خطوط 400kv عبور می‌نمایند ناگهان مسیر خود را عوض می‌کنند.

-ایجاد کم‌خونی مرگ‌آور در شغل‌هایی نظیر کار با پستهای برق - تعمیرکار برق، پایه‌گزاران دکلها کارگردانهای تلویزیونی و کسانی که به نحوی با وسایل عکاسی سروکار دارند بعلت پرتوگیری از EM حداکثر است.

جدول ۱: میدانهای برقی در اطراف وسایل مصرفی الکتریکی

وسيله	میدان الکتریکی (V/m)
پتوی برقی	250
کباب‌پز برقی	130
استریو	90
یخچال	60
اطوبرقی	60
مخلوط کن	50
نان سرخ کن	40
ضبط صوت	40

جدول ۲: دانسیته‌های فلوی مغناطیسی حاصل بوسیله دستگاههای الکتریکی

گدس 0.01-2	گدس 5-10
دورانداز آشغال	درباز کن شبکه
لباس خشک کن	چراغ رومیزی فلورسنت
جارو برقی	پلوپز
	ریش تراش برقی
گدس 1-5	گدس 10-25
دستگاه رنده و دانه ریز کن	هویه و لحیم کاری

بهم زن مغناطیسی	بهم زن غذا
بهم زن مغناطیسی	ترانسفورمر پر قدرت
کابل‌های فشار قوی	موتور تاقایی
مو خشک کن	دستگاه تلویزیون
	مته برقی

امواج الکترومغناطیسی سبب بروز سرطان می‌شود.<sup>۴</sup>

براساس تحقیقات دانشمندان اتریشی امواج الکترومغناطیسی قادر است در سیستم دفاعی مغز اختلال ایجاد کند و موجب بروز سرطان شود.

این تحقیقات که از سوی پژوهشگران مرکز مطالعاتی «سایرودورف» اتریش و بر روی حیوانات آزمایشگاهی انجام شده است نشان می‌دهد که امواج الکترومغناطیسی در شرایط آزمایشگاهی موجب کاهش ترشح مواد در مغز حیوانات مورد آزمایش شده است و این مواد برای جلوگیری از بروز سرطان ضروری هستند.

دکتر «نوربرت لاینگب» از دانشگاه فنی گراستی اعلام کرد: با این حال این تحقیقات هنوز به طور قطع ثابت نکرده است که آیا این امواج در شرایط زندگی عادی استانها نیز همان اثرات را دارد یا خیر؟

صفحه تلویزیون با کامپیوتر، دستگاههای مخابراتی قوی و خطوط برق فشار قوی از منابع تولید امواج الکترومغناطیسی بشمار می‌روند.

#### اثر میدانهای مغناطیسی فرکانس پائین

نتایج زیر تنها براساس آمارگیری و مطالعات همه گیر شناسی حاصل شده است و هیچگونه روش عملی برای توصیه وجود ندارد.

1- 10 تا 15 درصد سرطان کودکان در مکانهایی نزدیک خطوط فشار قوی اتفاق افتاده است.

2- سقط جنین بعلت استفاده از پرتوهای الکتریکی افزایش چشمگیری داشته است.

3- میدان مغناطیسی 100 mt در فرکانس 40HZ باعث افزایش سرم تری گلیسریدو در نتیجه افزایش بیماریهای قلبی می گردند.

4- میزان خودکشی ها و افسردگیها در مکانهای نزدیک به خطوط انتقال افزایش می یابد.

5- شواهد آماری نشان می دهد که افزایش سرطان خون و همچنین مغز استخوان ارتباط غیر قابل انکاری با شدت میدان مغناطیسی دارد.

6- در سال ۱۹۸۲ در کشور سوئد سرطان در کودکان که در فاصله ۱۵۰ متری خطوط 200KV زندگی می کردند دو برابر معمول بوده، گزارش شده است که در میدانهای بیش از 50MT صدمات وارده 2.7 برابر معمول بوده است.

7- در کشور کانادا در میدانهای با 0.2M تعداد مبتلایان به سرطان دو برابر حد معمول گزارش شده.

8- میدانهای مغناطیسی در مدت بارداری در سطح متوسط باعث ایجاد سرطان در کودکان می شوند و در سطوح شدیدتر سقط جنین را بدنبال دارد.

9- تحقیقات در انگلیس نشان میدهد که در افرادی که در 50 متری خطوط هوایی زندگی می کرده اند میزان سرطان خون 1.25 برابر و میزان تومورهای بدخیم 1.61 برابر معمول بوده است.

10- سرطانهای مغز استخوان - مغز و سیستم اعصاب، تومورهای بدخیم و ریه نیز در اثر میدانهای مغناطیسی تولید میشوند نشان داده شده است که افزایش تومورهای مغزی در کارکنان صنعت برق 13 برابر افراد دیگر است.

11- مطالعات نشان میدهد که در فاصله 30 متری خطوط انتقال و 50 متری ایستگاههای فشار قوی افزایش قابل توجهی در مبتلایان به سرطان ریه مشاهده شده است. علیرغم مصرف سیگار در مبتلایان.

## فصل هشتم

بررسی آثار بیولوژیکی، خطوط انتقال و توزیع نیرو و مروری بر حدی

حریم مجاز اطراف این خطوط

آثار بیولوژیکی - میدان الکتریکی [۱۴] و [۱۸]

در سالهای اخیر اثرات بیولوژیکی میدانهای الکتریکی و مغناطیسی اطراف خطوط انتقال نیرو روی موجودات زنده توجه محافل علمی و فنی جهان را بخود جلب کرده است که آیا عبور خطوط انتقال نیروی فشار قوی و فوق فشار قوی از داخل شهرها و یا مراکز جمعیت میتواند اثرات سوء روی موجودات زنده داشته باشد یا خیر؟

برای روشن شدن این مطلب قبل از هر چیز باید به وضعیت فیزیکی و اندازه و شدت این میدانها در اطراف خطوط و توزیع نیرو و سایر تأسیسات صنعتی بپردازیم.

- اثر میدانهای الکتریکی فقط میتواند اثرات خارجی روی بدن باشد و اکثراً بصورت حرارت یا سوختگی ظاهر شود. البته باید توج داشت که در اثر عبور جریان برق ناشی از قرار گرفتن فرد در میدان الکتریکی عکس العمل خود در مقابل شوک می تواند تا حد مرگ برای فرد خطر آفرین باشد.

نتایج بدست آمده در دو کشور شوروی و اسپانیا به این موضوع اشاره می کند که کارگرانی که در پستهای فشار قوی کار می کنند ممکن است میدان شدید الکتریکی موجود در محل کار روی فیزیولوژی آنها اثرات نامطلوب داشته باشد و بنابراین مقرراتی برای آنها وضع شده که در جدول ذیل آمده است.

بدنبال اعلام این نتیجه در سال 1982 سیگره پس از تحقیقات وسیعی که توسط گروههای متشکل از بیولوژیست، پزشک و متخصصان صنعت برق انجام شده بود توانست موضوع واحدی را در مورد اثرات میدان الکتریکی و مغناطیسی روی اندامهای زنده حاصل نماید که خلاصه آن بشرح زیر است:



جدول 1: زمان مجاز برای قرار گرفتن کارگران تعمیرات پست در معرض میدان الکتریکی  
(معیار شوروی سابق)

شدت میدان الکتریکی بر حسب کیلو ولت بر متر	زمان مجاز برای قرار گرفتن کارگران تعمیرات پست در میدان الکتریکی در بیست و چهار ساعت بر حسب دقیقه
$\leq 5$	بدون محدودیت زمانی
50-10	180 دقیقه
10-15	90 دقیقه
15-20	10 دقیقه
20-25	5 دقیقه
$\geq 5$	بدون محافظ غیر مجاز است

### پدیده فیزیکی

وقتی یک موجود زنده در میدان الکتریکی قرار میگیرد سه نوع پدیده قابل مشاهده است:

- جریان ضعیف القایی در بر انسان، این جریان آنقدر ضعیف است که در میدان با شدت  $10\text{KV/m}$  کل جریان در بدن از  $0.2$  میلی آمپر تجاوز نمی کند و دانسیته جریان در پیشانی فرد معادل  $40$  نانو آمپر در سانتیمتر مربع است.
- اثرات سطحی الکترواستاتیک، این اثرات تنها در میدانهایی که شدت بیش از  $10\text{kv/m}$  قابل احساس است.
- تخلیه های لحظه ای، این اثرات بصورت جرقه های خیلی کوچک در لحظه تماس بین بدن و اشیاء هادی غیر متصل با زمین ظاهر می شود مثل هنگام دست زدن به بدنه اتومبیل یا حصار فلزی.
- این موضوع با اتصال اشیاء هادی به زمین در منطقه ای که میدان الکتریکی وجود دارد بر طرف می گردد حتی در بدترین وضعیت که جریان تخلیه بین  $0/5$  تا  $0/25$  میلی آمپر بر کیلو ولت بر متر می باشد.

### اثرات بیولوژیک

راجع به این مبحث در فصلهای قبل بطور کامل توضیح داده شده است فقط بخاطر جدول زیر مطرح شده است.

جدول ۲: حداکثر شدت میدان الکتریکی مجاز برای محل‌های مختلف

شدت میدان مجاز بر حسب Kv/m	محل
25kv/m	محل‌هاییکه دور از دسترس افراد باشد
15kv/m	در مناطق کم جمعیت
10kv/m	در محل عبور خط انتقال از روی جاده
1kv/m	در مناطق پر جمعیت
0.5kv/m	در خانه مسکونی

### اثرات کرونا در محیط زیست

کرونا پدیده‌ایکه در اثر یونیزه شدن هوای اطراف هادیهای برقدار تحت تأثیر شدت میدان الکتریکی حادث می‌شود و در تمام خطوط فشار قوی و تحت هرگونه شرایط جوی بوجود می‌آید و لیکن در خطوط انتقال با ولتاژهای خیلی بالا و هوای مرطوب این پدیده بارزتر است.

ایجاد این پدیده باعث افزایش اتلاف خطوط و فرسایش هادیها و تجهیزات تعلیق خط می‌گردد لذا در طراحی خطوط سعی بر کاهش این پدیده است.

«برای ساکنان اطراف خطوط انتقال پدیده کرونا بصورت نویز (هیس) قابل شنیدن ظاهر می‌شود که برای خطوط انتقال 400kv شدت این نویز حداکث به 53db دسی بل می‌رسد که حدی مجاز برای شنوایی انسانها بخصوص در جوامع شهری، و هیچگونه اثر سوء روی انسان ندارد. تولید ازن و اکسیدهای ازت که از نتایج کرونا می‌باشد بمناسبت پائین بردن بیش از حد اثری روی انسان ندارد.

### اثرات میدان مغناطیسی روی موجودات زنده

میدان مغناطیسی بوجود آمده در اطراف خطوط انتقال و توزیع در اثر عبور جریان از داخل هادیهای خط بر عکس میدانهای الکتریکی تمام اعضای داخل بدن انسان و هر موجود زنده‌ای نفوذ میکند. بنابراین شانس اثر گذاری این میدان روی موجود زنده بیشتر از میدان الکتریکی است. ولیکن تا چه حدی از شدت میدان مغناطیسی میتواند روی انسان خطرناک باشد و حداکثر آن در اطراف خطوط هوایی انتقال علاوه بر شدت جریان هادی خط به فاصله نقطه اندازه‌گیری تا مرکز هادی بستگی دارد.

براساس محاسبات انجام شده حداکثر شدت میدان مغناطیسی برای هر، هزار آمپر شدت جریان عبور داده شده از هادی معادل 10MT (میکروتسلا) است.

## بررسی امواج الکترومغناطیس در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تأثیرات آن

البته باید توجه داشت که پیدایش میدانهای مغناطیسی در فرکانسهای پایین تنها محدود به اطراف خطوط انتقال و زیر این خطوط نیست بلکه هر جائیکه شدت جریان الکتریکی بالا وجود دارد باید منتظر وجود چنین میدانی باشیم.

در جداول زیر ماگزیمم شدت میدان مغناطیسی در اطراف خطوط هوایی انتقال و .. ارائه شده

است.

جدول ۳: شدت میدان مغناطیسی در زیر خطوط انتقال و اطراف بستها و دکلها

حداکثر شدت میدان در یک فاصله از محل ایجاد میدان	حداکثر شدت جریان	شرح
5-20MT	40MT	خطوط هوایی فشار قوی
10-30MT	50MT	شینه‌های پستها در محوطه باز
100MT	100MT	توانسفورماتورها با جریان بالا
200MT	100MT	کلید جریان مستقیم
400MT	1500MT	دپزنکتور در محوطه باز

جدول ۳: شدت میدان مغناطیسی در تأسیسات صنعتی

حداکثر شدت میدان در یک فاصله از محل ایجاد میدان	حداکثر شدت میدان	شرح
100MT در نیم متری	30MT	کوره‌های القایی
200MT در دو متری	10MT	وسایل جوشکاری
80MT در نیم متری	100MT	گیره‌های مغناطیسی

جدول ۴: شدت میدان مغناطیسی اطراف وسایل برقی خانه (میکروتسلا)

حداکثر میدان در ۳۰ سانتی متر وسیله	حداکثر شدت میدان	شرح
0.5MT	1-10MT	لامپ
2MT	1-100MT	خشک کن ماشین لباسشوئی
16MT	100-500MT	تلویزیون رنگی

20MT	100-500MT	مته برقی
400MT	500-1000MT	خوراک پز برقی
20MT	100-500MT	بخاری برقی یا پنکه

لازم به تذکر است که میدانهای مغناطیسی و الکتریکی مؤلفه‌های ثابت جهان ما و قسمتی از محیط زیست انسانها را تشکیل می‌دهند بعبارت دیگر هر فردی از افراد بشر در جوامع بشری تحت تأثیر میدانهای مغناطیسی با شدت های مختلف قرار می‌گیرد که حد شت آنرا می‌توان بصورت زیر خلاصه کرد:

-میدان مغناطیسی زمین که روی آن زندگی می‌کنیم 40MT میکرو تسلا

-در منزل و اطراف وسائل برقی خانه 40MT میکرو تسلا

-در محوطه کارخانجات حداکثر میدان مغناطیسی 200MT میکروتسلا

-در زیر خطوط فشار قوی و پستها 400MT میکروتسلا

بهرحال آنچه در باره اثرات سوء بیولوژیکی میدانهای مغناطیسی و الکتریکی روی موجودات

زنده می‌توان گفت بطور خلاصه زیر است:

1-میدانهای الکتریکی از 15kv/m می‌تواند روی انسان اثر سوء داشته باشد.

2-میدان مغناطیسی تا حد 5 میلی تسلا یا معادل 50گوس هیچ اثر سوئی روی انسان ندارد.

بیش از این حد می‌تواند روی ترکیبات خون و حد رشد- سیستم عصبی - رفتار انسان و ... اثر سوء داشته باشد که البته این موضوع بطور حتمی مسجل نیست.

3-میدان مغناطیسی ایستا با شدت بیش از 8 تسلا می‌تواند باعث افزایش رشد نوعی سلولهای

توموری گردد-هرچند مدارک کافی برای اثبات این موضوع نیز هنوز در دست نیست.

بررسی شدت میدانهای الکتریکی در اطراف خطوط انتقال نیرو در ایران.

با توجه به مطالب اشاره شده در فوق بمنظور بررسی وضعیت میدان الکتریکی در اطراف خطوط

انتقال نیرو در ایران با استفاده از روش ماکسول و روش مارکت منگل و یا بکارگیری کامپیوتر، شدت

میدان الکتریکی در اطراف تعدادی از خطوط 230 و 400 کیلو ولت شبکه ایران محاسبه گردید که نتایج بصورت نمونه در زیر ارائه می‌گردد.

- میدانهای الکتریکی با شدتی کمتر از 10kv/m روی موجودات زنده، ترکیب خون، سیستم عصبی و روانی انسان هیچگونه اثر سوء ندارد و این مطلب تأیید سازمان بهداشت جهانی نیز میباشد.

- میدان مغناطیسی تا حد 5 میلی تسلا یا معادل 50 گوس روی انسان اثر سوئی ندارد ولیکن در بعضی از بررسیها انجام شده میدانهای مغناطیسی با شدت بیش از 5 میلی تسلا می‌تواند روی سیستمهای عصبی و ترکیبات خون اثرات سوء داشته باشد. میدانهای مغناطیسی بیش از 8 تسلا می‌تواند باعث افزایش رشد نوعی سلولهای توموری گردد.

- با توجه به معیارهای فوق و براساس محاسبات انجام شده روی خطوط انتقال 230 و 400 کیلو ولت در ایران جز در شعاعی محدود در اطراف هادیها در بقیه نقاط اطراف این خطوط شدت میدان الکتریکی 10kv/m کمتر است و شدت میدان مغناطیسی از 400 میکرو تسلا تجاوز نمی‌کند.

- با توجه به معیارهای منتج از تحقیقات انجام شده در انیسیتوی لیننگراد و مقایسه میدانهای الکتریکی محاسبه شده در اطراف خطوط انتقال نیرو در فاصله 17 متری از فاز کناری شبکه 235 kv و در فاصله 20 متری از فاز کناری خطوط انتقال KV400 هیچ خطری برای انسان ساکن در خارج این حریم وجود ندارد. بنابراین با توجه به این دو معیار می‌توان کلاً چنین نتیجه‌گیری کرد که حریمهای درجه یک تعیین شده برای خطوط توزیع و انتقال نیرو در ایران مربعهای منطقی و برای حفظ جان و سلامت انسانها رعایت آن الزامی است و لیکن حریم درجه «۲۰» احتیاط بیش از حد و غیر ضروری است، بخصوص در شهر و روستاهای محل عبور خطوط انتقال نیرو می‌توان از حریم درجه دو صرفنظر کرد هر چند از نظر شخصی اینجانب اگر مسائل اقتصادی آن را نادیده بگیریم احتیاط را از دست ندهیم بهتر است.

## منابع

- [۱]- نکاتی در مورد میدانهای الکتریکی و مغناطیسی تولید شده بوسیله سیستمهای انتقال نیرو - محمد رضا طوسی پناه.
- [۲]- اصول مقدماتی الکتریسیته - تألیف مهندس غلامعلی سرابی تبریزی - ۱۳۵۷.
- [۳]- میدانها و امواج. تألیف: دکتر همایون عریضی - دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۴]- طیف الکترومغناطیس و گسیل القائی - دکتر علی معصومی.
- [۵]- طراحی خطوط انتقال، قاضی زاهدی - امیر منصور - رنجبر، جلد اول - وزارت نیرو.
- [۶]- الکترومغناطیس، میدان و موج، دیورک چنگ، مترجم: دکتر پرویز جبه دار و مهندس قوامی.
- [۷]- انتقال و توزیع انرژی الکتریکی تألیف H-Cotton و H-Barler، ترجمه: مهندس انسانی
- [۸]- رضا جعفری - مهدی معلم - محاسبات پارامترهای انتقال و کابلها به روش اجزاء محدود، سیزدهمین کنفرانس بین المللی برق. 98. ۲۱۵-۲۱۹.
- [۹]- رضا جعفری - معلم مهدی - محاسبات میدانهای الکترو مغناطیسی - حرارتی در کابلها سه فاز به روش اجزاء محدود، چهارمین کنفرانس مهندسی برق ایران. آبان ۱۳۷۵
- [۱۰]- معلم مهدی، جعفری رضا، محاسبه تلفات جریانهای گردابی در خطوط و کابلها انتقال به روش اجزاء محدود، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۷۴
- [11]-Silvester, P. and Ferrari, R.: Finte Element for Electrical Engineering Compridge university press.1983.
- [12]-Extra high Voltage Transmission in Sweden, State Power Poard, 1985.
- [۱۳]- حریم از نظر فنی و حقوق و قوانین مربوطه، جلد اول، مرتضی سرمد، چاپ درخشان.
- [۱۴]- تأثیرات نئوزولوژیک خطوط فشار قوی - دکتر هنری لای.

[۱۵]- خطوط فشار قوی و سلامتی شما - دکتر لاپلاس و مایک.

[۱۶]- هیت ویلیام، الکترو مغناطیس مهندسی، مترجم جلایری.

[۱۷]- خدیجه شریفینا - مریم شمش لاهیجانی - حسن رجبی - تأثیر میدانهای الکترو

مغناطیسی، ۵۰هزرتز بر جنین تخم مرغ، سیزدهمین کنفرانس بین المللی برق 98.

[۱۸]- دکتر محمد حسن بحرینی طوسی - دکتر میر صالحی و.. آقای مهندس آزاد - میدانهای

EIF و سلامت انسان - سیزدهمین کنفرانس بین المللی برق.

[19] - "Switched .B.W.Flynn & D.E.Macpherson .H.W.Whittington

John Wiley & New York.Mode Power Supplies Design & Construction "

1992, Sons Inc.

[۲۰] "High power asymmetrical .P.B.Spisak & Walczak .C.K.Chu

.Thyristors" .IEEE Applications Society Conference Record .Process. 1985.

[۲۱] " Advances in switched mode .S. C?k and R. D. Middlebrook

.30.Vol. IE .IEEE Transactions on Industrial Electronics.power conversion"

1983, 1No.



در پایان برخورد لازم می‌دانم بدینوسیله از استاد ارجمند  
جناب آقای دکتر ناصح ، مسئولین دانشگاه تهران و امیرکبیر و  
شرکت برق توانیر و شرکت برق منطقه خراسان و... که اینجانب  
را در طول مدت کار، راهنمایی و مساعدت فرموده‌اند تشکر و  
قدردانی کنم.



با امید به خداوند متعال این دوره از تحصیلات نیز به پایان رسید و پروژه خود را تقدیم می‌کنم به  
پدر و مادرم که در تمامی سال‌های تحصیل پشتیبان اینجانب بودند .



## پروژه کارشناسی تحت عنوان :

# بررسی امواج الکترومغناطیسی در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تأثیرات آن

زیر نظر استاد ارجمند:

جناب آقای دکتر ناصح

ارائه دهنده:

حسام فکرت

قدرت ۸۲

زمستان ۸۷



## بررسی امواج الکترومغناطیسی در اطراف سیمهای برق فشار قوی و تأثیرات آن

زیر نظر استاد ارجمند :

جناب آقای دکتر ناصح

ارائه دهنده :

حسام فکرت

زمستان ۸۷