نام درس: طرح پست های فشار قوی و پروژه

اهداف درس:

- **آشنایی با نحوه برنامه ریزی و طرح اولیهٔ پست های فشار قوی**
- **آشنایی با تجهیزات فشار قوی مورد استفاده در پست های الکتریکی**
- **اصول طراحی فنی و اقتصادی پست ها و فراگیری تعیین مشخصات فنی تجهیزات فشار قوی**
- **فراگیری نقشه خوانی الکتریکی مرتبط با طراحی پست**

مراجع:

1. ABB Switchgear Manual, 10th revised edition, 2001.
2. کتاب «طراحی پست های فشار قوی»، دکتر رحمت الله هوشمند، دانشگاه اصفهان، چاپ چهارم (۱۳۹۱).
3. J. D. McDonald, Electric Power Substations Engineering, second edition, Taylor & Francis Group, 2006.
4. مجموعه استانداردها و دستورالعمل های وزرات نیرو در خصوص طراحی پست های فشار قوی

ارزشیابی:

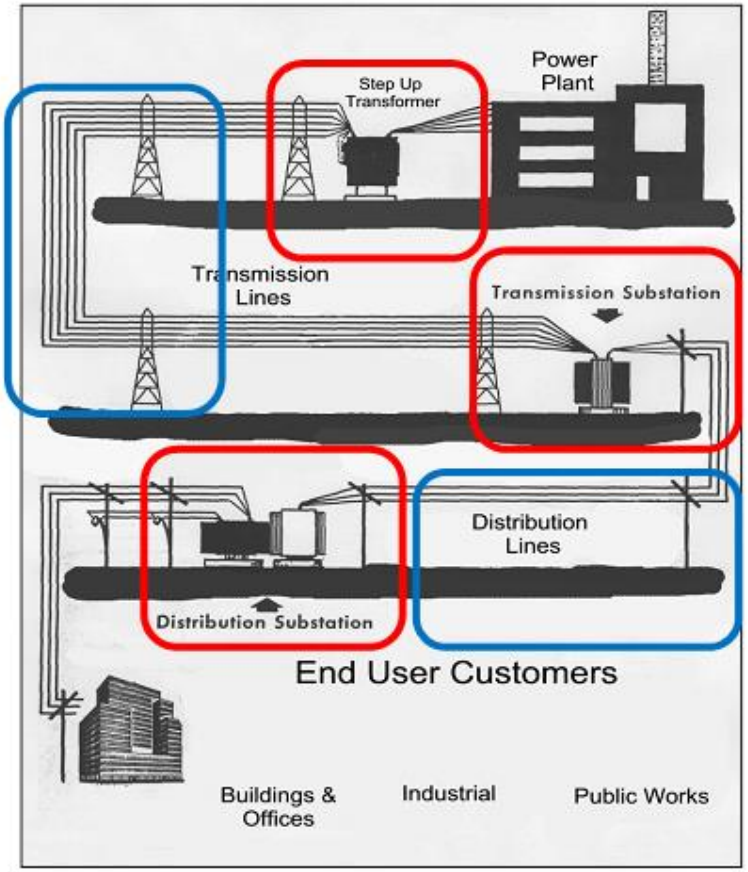
- **حضور موثر در کلاس، تمرین و پروژه: ۵ نمره**
- **امتحان میانترم: ٦ نمره**
- **پایان ترم: ۹نمره**
- **موارد اختیاری (شامل سمینار اختیاری و پاسخگویی به سوالات اضافه، دوره آموزشی): تا ۲نمره**

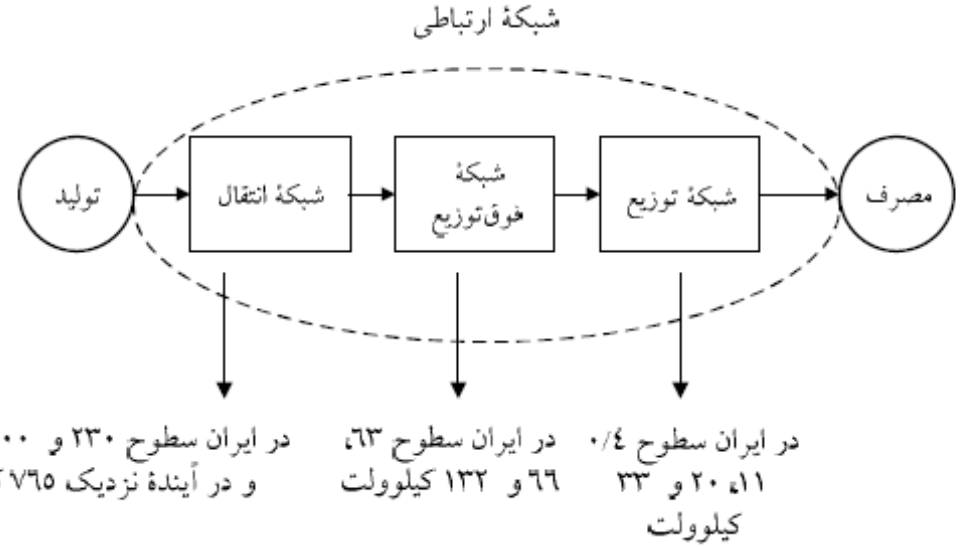
مدرس: دکتر علی کریمی

فهرست مطالب درس

- بخش اول: مقدمه ای بر پست های فشار قوی (انواع پست ها، اجزای پست، برخی مفاهیم مهم و معیارهای طراحی)
- بخش دوم: کلیدهای فشار قوی (مدارشکن و سکسیونر یا دیسکانکت)
- بخش سوم: طرح های شینه بندی در پست (انواع شینه بندی و آرایش فیزیکی تجهیزات پست)
- بخش چهارم: اصول اینترلاک در پست های فشار قوی (اصول طراحی مدارات اینترلاک، انواع اینترلاک ها، انواع شینه بندی و اینترلاک)
- بخش پنجم: ترانسفورماتورهای اندازه گیری و کاربرد آنها در حفاظت و میترینگ (اصول کارکرد CT و VT، انواع ترانسفورماتورهای اندازه گیری، استانداردهای مرتبط)
- بخش ششم: سیستم های مخابراتی در پست ها (سیستم PLC و سایر تجهیزات مخابراتی)
- بخش هفتم: برقگیر (Surge Arrester)
- بخش هشتم: طراحی شبکه زمین در پست ها
- بخش نهم: راکتورهای قدرت

نمای کلی سیستم های قدرت





تولید انرژی در نیروگاه ها

انواع نیروگاه ها:

- ✓ بخاری
- ✓ گازی
- ✓ سیکل ترکیبی
- ✓ آبی
- ✓ هسته ای
- ✓ دیزلی
- ✓ بادی
- ✓ خورشیدی و ...

سهم نیروگاه های مختلف در ایران (سال ۹۴)

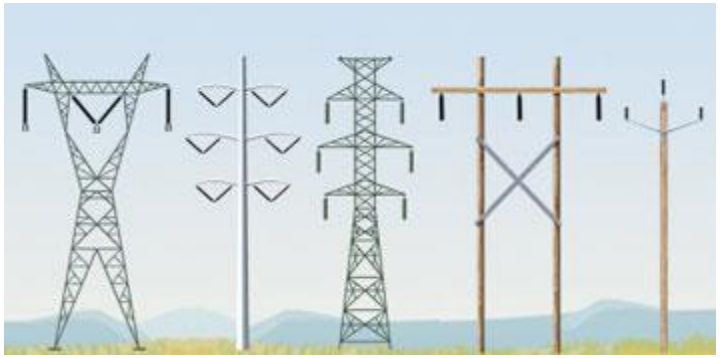
نوع نیروگاه	ظرفیت نامی نصب شده (MW)	درصد ظرفیت نامی به کل	درصد انرژی تولیدی
بخاری	15830	21.4	31.1
گازی	26661	36.1	26.7
چرخه ترکیبی	18494	25	36.6
برق آبی	11275	15.3	5
اتمی و تجدیدپذیر	1193	1.6	1.2
دیزلی (وزارت نیرو)	409	0.6	0.02
مجموع	73862	100	100

سوخت مصرفی متداول: گاز، گازوئیل و نفت کوره

سوال: چرا نیروگاه گازی ظرفیت نصب شدهٔ بالایی دارد ولی سهم کمتری در تولید انرژی سالانه را داراست؟

انواع خطوط انتقال

- خط هوایی معمولی
- خط هوایی فشرده (Compact)
- خط زمینی (شبکه کابلی)



وضعیت ایران (9 سطح ولتاژ):

✓شبکه انتقال ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت
✓شبکه فوق توزیع (۶۶) ۶۳ و ۱۳۲ کیلوولت
✓شبکه توزیع ۰/۴، ۱۱، ۲۰ و ۳۳ کیلوولت

ولتاژ ۶۶ کیلو ولت بجای ۶۳ کیلو ولت در استان فارس
۱۱ کیلو ولت در استان های خوزستان و فارس و سیستان و بلوچستان
۳۳ کیلو ولت در استان خوزستان

سطوح 765 و بالاتر در آمریکا، کانادا، برزیل، هند و ...

سوال: سطح جریان در پستهای توزیع؟ بیشینه ظرفیت خطوط توزیع و فوق توزیع برحسب مگاوات برای واگذاری انشعاب ؟

پست های انتقال (Substation)

- **پستهای افزاینده (Step-up):**

پس از تولید برق با ژنراتور، جهت کاهش تلفات و امکان انتقال توانهای بالا به سایر نقاط، بایستی ولتاژ خروجی ژنراتور (که معمولا کمتر از ۲۰ کیلوولت است) را به ولتاژ سطوح انتقال (۲۳۰ یا ۴۰۰ کیلوولت) تبدیل نمود.

- **پستهای کاهنده (Step-down):**

با نزدیکی به محل مصرف، بایستی سطح ولتاژ را کاهش داد که معمولا در چند مرحله (مثلا توسط پستهای انتقال ۴۰۰/۶۳ ،فوق توزیع ۶۳/۲۰ و توزیع ۲۰/.۴ کیلوولت) انجام می شود.

- **پست سوئیچینگ**

Typical 138 kV Substation

شبکه قدرت با هزینه های بسیار سنگین

مثال برای هزینه احداث خط نوعی در سال ۹۷

هزینه حدودی هر کیلومتر (میلیون تومان)	تعداد باندل	تعداد مدار	سطح ولتاژ
1000	3b	1c	400
700	1b	1c	230
500	1b	1c	132
300	1b	2c	63

مثال برای هزینه احداث پست نوعی در سال ۹۷

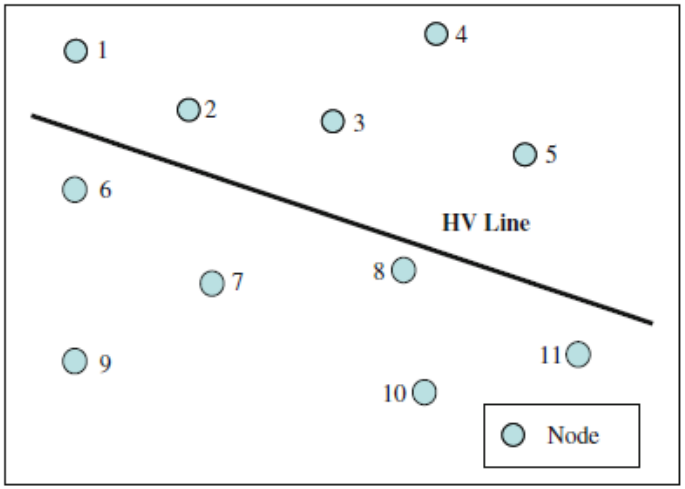
هزینه حدودی (میلیارد تومان)	ترانسفورماتور (MVA)	سطح ولتاژ پست
100	2*315	400/132
90	2*200	400/63
75	2*160	230/63
35	2*50	132/20
30	2*30	132/20
25	2*15	132/20
17	2*50	63/20
15	2*40	63/20
12	2*30	63/20
10	2*15	63/20

- البته در مورد پست، هزینه ها بسیار وابسته به تعداد خطهای متصل به پست و نوع طراحی پست دارد (آرایش شینها و نوع تجهیزات)
- اصلی ترین هزینه پست، مربوط به ترانسفورماتورهای قدرت است

سوال: تخمین هزینه ترانسفورماتورهای قدرت؟

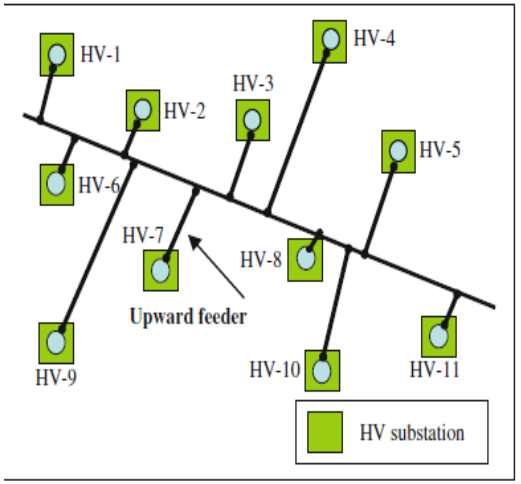
سوال: تخمین هزینه پست بر اساس هزینه ترانسفورماتورهای قدرت؟

فرآیند توسعه شبکه و احداث پست های فشارقوی

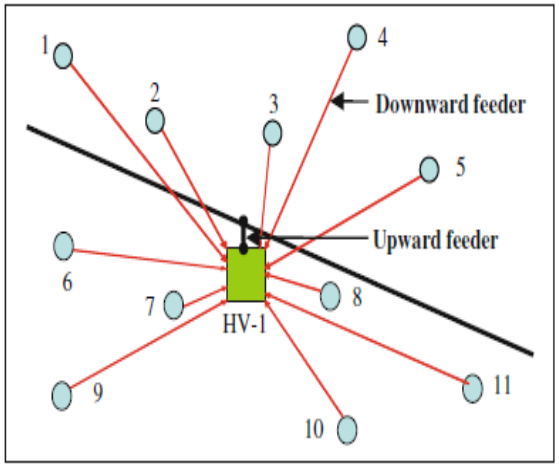


فرآیند توسعه شبکه

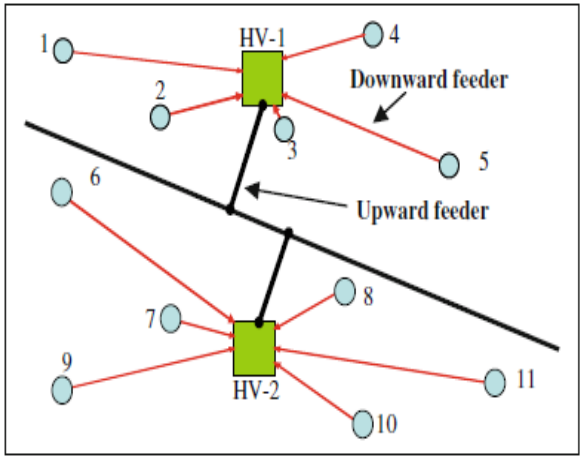
به عنوان مثال، خط اصلی با ولتاژ ۲۳۰ کیلوولت و بارها
باید با ولتاژ ۲۰ کیلوولت تغذیه گردند



هزینه بالای احداث پست
هزینهٔاحداث فیدرهای ولتاژ بالا
هزینهٔ بهره برداری پایین (تلفات ناچیز در شبکه)



هزینه احداث فقط برای یک پست
هزینهٔ فیدرهای ولتاژ پایین
تلفات بالا در فیدرهای ولتاژ پایین



هزینه احداث دو پست
هزینهٔ فیدرهای ولتاژ پایین و ولتاژ بالا
تلفات، حد وسط بین حالت الف و ب

انواع پست های انتقال بر اساس عایق بندی

- **پست های معمولی (Conventional): فاصله بین فازها و مدارات مختلف توسط هوای آزاد عایق می شود (در همه سطوح ولتاژی ساخته می شوند).**
- **پست های گازی یا GIS (Gas Insulated Substation): از گاز SF6 برای عایق استفاده می شود. کلیه تجهیزات درون کپسول های این گاز قرار می گیرند که قدرت عایقی آن حدود ۳ برابر هواست. در شرایطی که کمبود فضا و یا آلودگی زیاد وجود دارد (مانند مناطق ساحلی) مرسوم است (البته بیشتر در سطوح بالاتر از ۶۳kV). نصب و نگهداری آنها به علت آماده بودن تجهیزات درون کپسول های سبک الومینیومی بسیار سریع انجام می شود؛ اما گرانتر از پست های معمولی هستند. تعمیرات دوره ای آنها نیز بسیار کمتر از پست های معمولی است (حدود یک ششم).**
- **پست های ترکیبی (Hybrid): ترکیبی از دو مورد فوق وجود دارد. بخشی از تجهیزات مانند شینه ها و کلیدهای قدرت در کپسول های گاز SF6 و سایر تجهیزات به صورت معمولی قرار دارند (در سطوح بالاتر از ۲۳۰kV کاربرد دارد).**

3DQ1 switchgear for rated voltage 420 kV

انواع پست های انتقال از نظر محل نصب

❖ **پستهای ثابت:**

- ❑ بیرونی (Outdoor): درفضای آزاد (بنابراین باید در برابر شرایط محیطی مقاوم باشند) نصب می شوند. طبق استاندارد، تجهیزات حداقل باید در ارتفاع ۲۳۰cm از سطح تمام شده زمین پست نصب شوند (روی اسکلت فلزی).
- ❑ داخلی (Indoor): در فضای سرپوشیده
  - ✓ داخلی باز: کلیه تجهیزات قابل رویت هستند (صفحات فلزی مشبک برای محافظت جان افراد استفاده می شود)
  - ✓ داخلی نیمه باز: معمولا شینه بندی که در بخش بالایی قرار دارد قابل رویت است
  - ✓ داخلی بسته: کاملا پوشیده هستند (به صورت تابلویی یا کشوئی، معمولا تا سطح ۳۳kV)

در پستهای داخلی بسته، بریکر یا به صورت ثابت است یا کشوئی. در شرایط کشوئی، نیازی به دیسکانکت در طرفین بریکر نیست و در صورت خرابی، بریکر به راحتی قابل تعویض است.

برای جلوگیری از خطر انفجار در پستهای داخلی بسته، دریچه هایی در سقف تابلو تعبیه می گردد که یا مشبک بوده و یا با فشار بالا باز می شوند.

مزایای پست های داخلی بسته نسبت به باز و نیمه باز:

- عدم امکان تماس سهوی افراد با تجهیزات
- احتمال بسیار کم برخورد جرقه با بیرون تابلو
- فضای کمتر
- تجهیزات کمتر در معرض آلودگی قرار می گیرند
- نصب و نگهداری آسانتر

معایب پست های داخلی بسته:

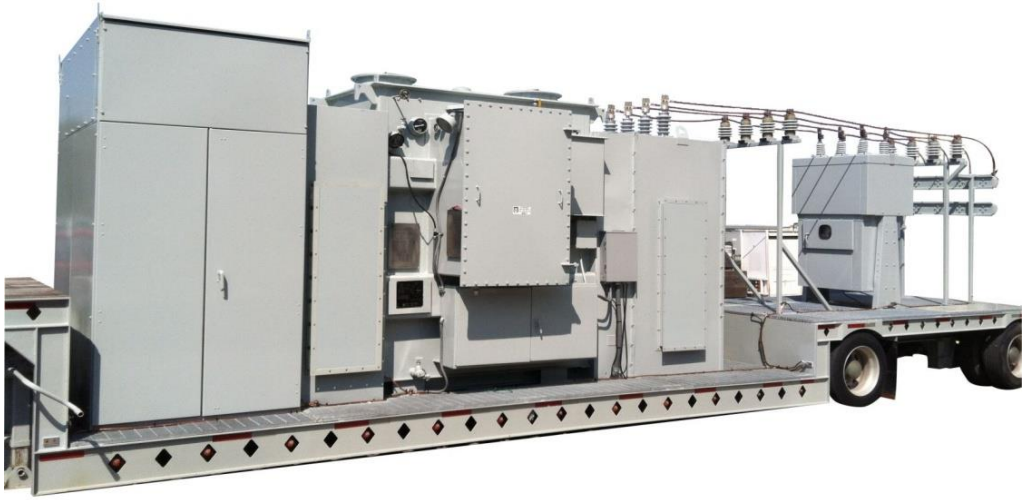
- امکان نظارت مستقیم وجود ندارد
- تجهیزات ساخت کارخانجات مختلف قابل تعویض با یکدیگر نیستند

موارد دیگر از پستهای انتقال

ویژگی های گاز SF6 برای پستهای GIS بیرونی یا داخلی:

- ✓ در فشار ۱atm، استقامت الکتریکی آن ۳ برابر هوا؛
- ✓ الکترونگاتیو (جذب الکترون های آزاد که باعث خاموش شدن جرقه می شود)؛
- ✓ غیرقابل اشتعال، پایدار و میل ترکیب پایین؛
- ✓ غیرسمی، بی رنگ و بی بو؛ و
- ✓ وزن آن ۵ برابر هوا.

❖ **پستهای سیار: قابل جابجایی برای شرایط اضطراری و موقعیت های موقت مانند T-OFF(معمولا به صورت GIS)**



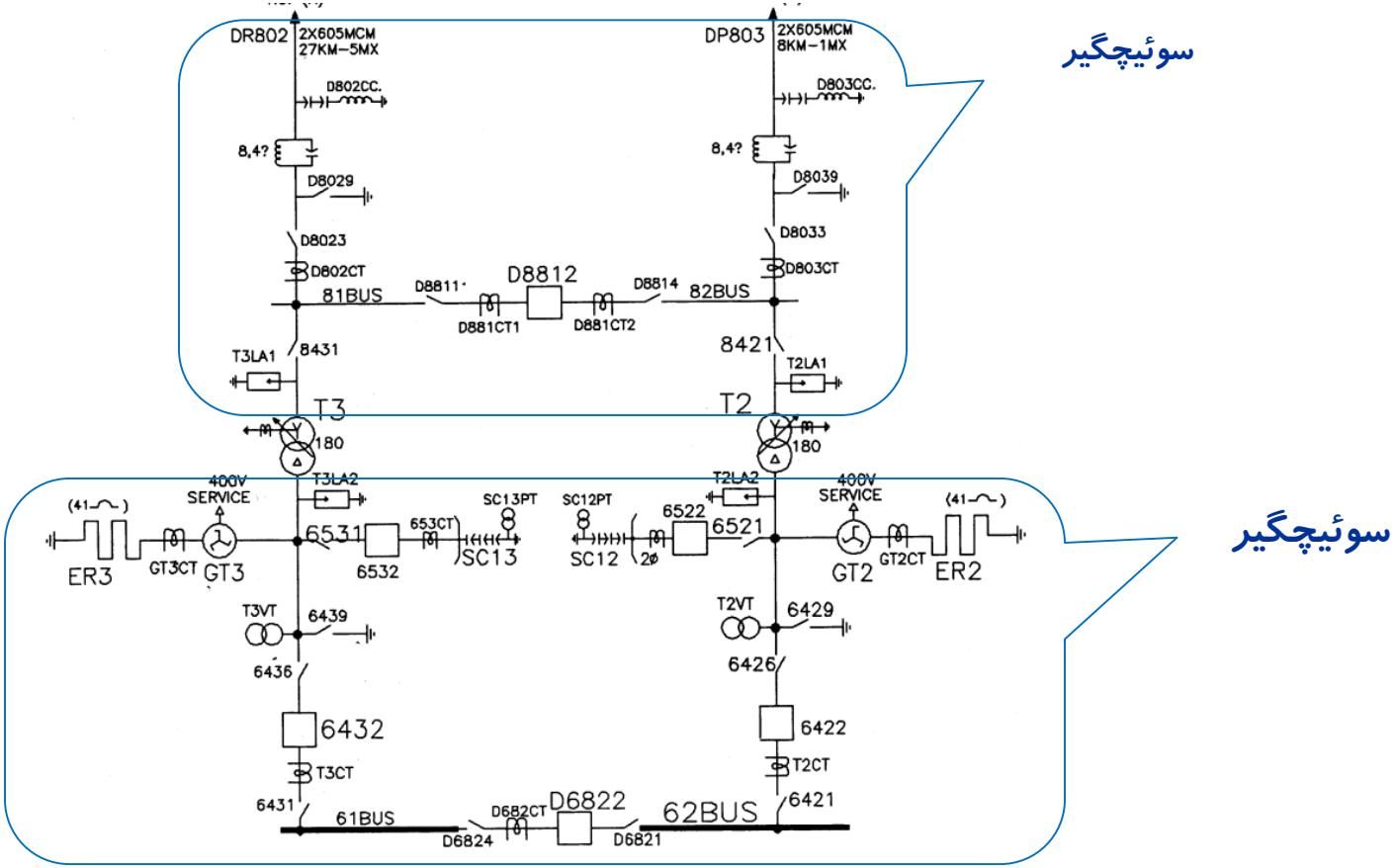
اجزای تشکیل دهنده پست های انتقال

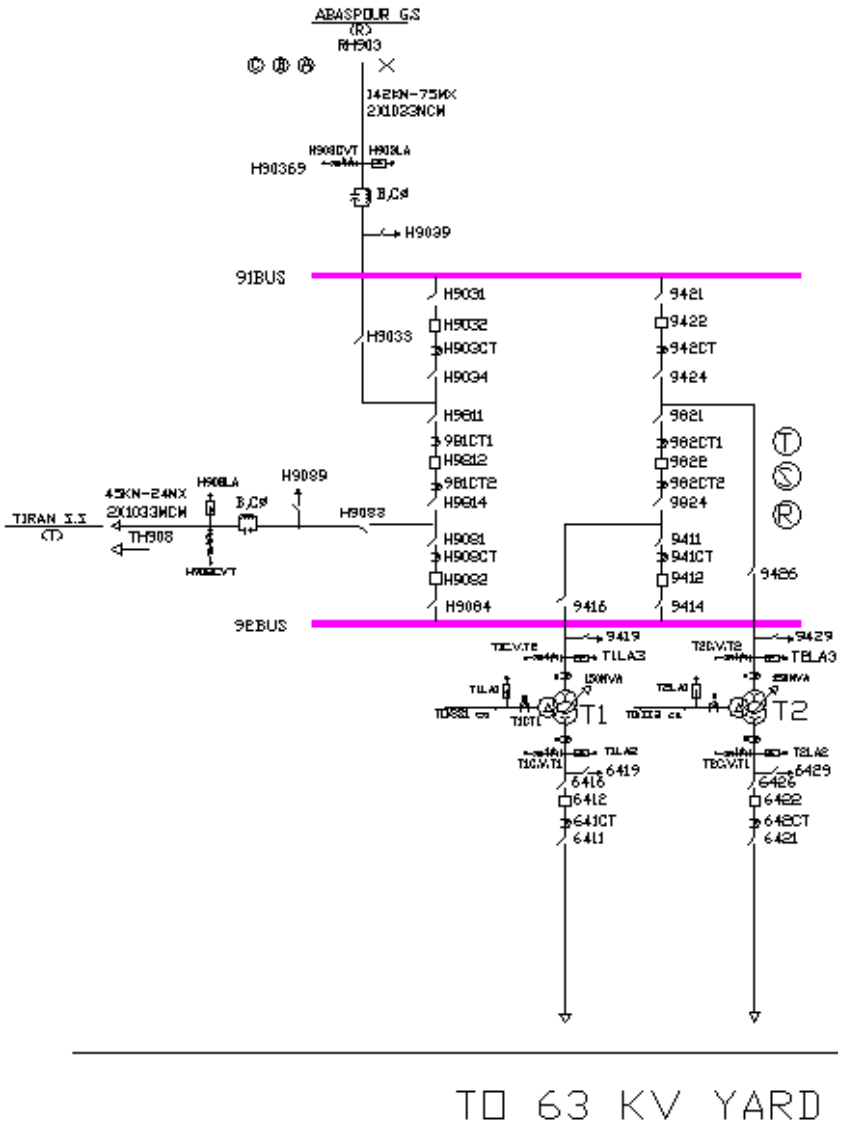
1. سوئیچگیر
2. ترانسفورماتور قدرت
3. ترانسفورماتور کمکی (تغذیه داخلی)
4. ترانسفورماتور زمین
5. سیستم زمین
6. سیستم حفاظت از صاعقه
7. تجهیزات جانبی الکتریکی (سیستم روشنایی، سیستم کابـل، سیستم تغذیه داخلی AC و DC)
8. تجهیزات جانبی غیرالکتریکی (ساختمان نگهبانی، جاده های دسترسی، پارکینگ، انباری، اتاق دیزل)
9. ساختمان کنترل و تاسیسات ساختمانی
10. سیستم کنترل، حفاظت و اندازه گیری
11. سیستمهای جبران کننده توان راکتیو
12. سیستم های مخابراتی

بسته به نوع پست ممکن است همه تجهیزات فوق موجود نباشد (مثلا در پست سوئیچینگ یا کلیدزنی ترانس قدرت وجود ندارد)

۱. سوئیچگیر (کلیدخانه)

- مجموعه ای از تجهیزات پست که عمل ارتباط ورودی های (فیدرهای) مختلف را به یکدیگر و به شینه بندی (Busbar) در یک سطح ولتاژ معین انجام میدهند. در یک سوئیچگیر سطح ولتاژ ثابت است و لذا به تعداد سطوح ولتاژ پست، سوئیچگیر وجود دارد که هر کدام، با سطح ولتاژ آن معرفی می شود. به عبارتی، یک پست ۲۰/۲۳۰/۴۰۰ کیلوولت دارای یک سوئیچگیر ۴۰۰kV، یک سوئیچگیر ۲۳۰kV و یک سوئیچگیر ۲۰kV است.
- وظیفه این تجهیزات قطع و وصل فیدرهای مختلف به یک مدار می باشد.





اجزای تشکیل دهنده سوئیچگیر:

1. کلید فشار قوی (دژنکتور، مدار شکن، Circuit Breaker)
2. سکسیونر (جداکننده، Disconnector Switch)
3. ترانسفورماتور جریان (Current Transformer)
4. ترانسفورماتور ولتاژ (Voltage Transformer)
5. برقگیر (Lightning Arrester)
6. شین (شینه، باس بار، Busbar)
7. سازه های فلزی (Steel Structures)
8. مقره (Insulator)
9. هادیهای رشته ای و لوله ای (Tube type or stranded Conductor)
10. کلمپ و اتصالات (Clamp & Connectors (HV Terminals))
11. تله موج و متعلقات آن (Line Trap)

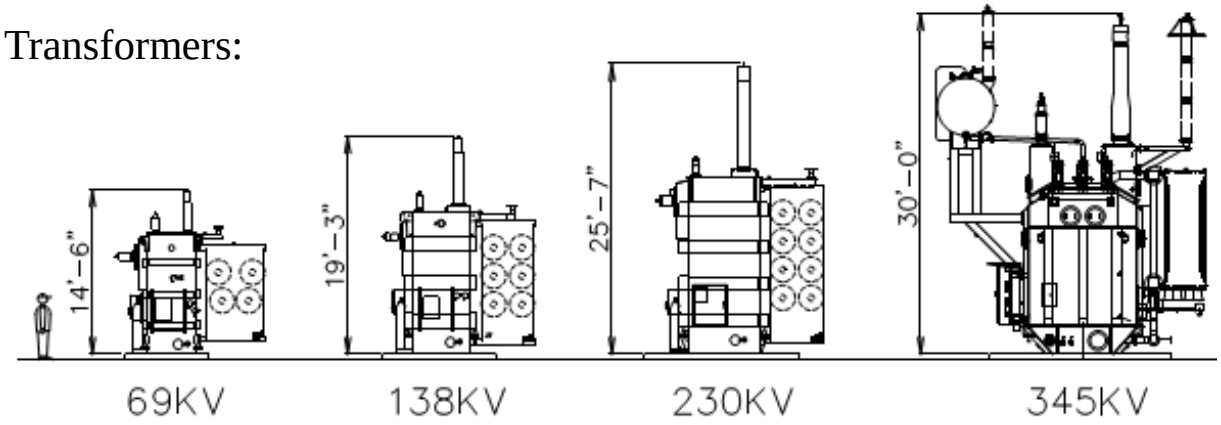
۲. ترانسفورماتورهای قدرت

- ✓ مهمترین تجهیز پست که درصد قابل توجهی از قیمت پست را شامل می شود.
- ✓ به دلیل حجم و وزن بالا و تبادل حرارتی مناسب با محیط (به ویژه ترانس هایی که با هوا خنک می شوند)، معمولا در فضای باز نصب شده و جهت جابجایی آنها، جاده های دسترسی با ابعاد مناسب لحاظ می شود.
- ✓ وجود اتصال مثلث در این ترانس ها به عنوان سیم پیچ پایدارکننده به منظور جلوگیری از القای ولتاژ هارمونیک سوم یا مولفه صفر در سمت ثانویه (ناشی از ولتاژ هارمونیکی اولیه و یا قطع سیم نول اولیه با اتصال ستاره) و کاهش موثر شار مولفه صفر در هسته اهمیت زیادی دارد (معمولا سمت فشار قوی اتصال ستاره و سمت فشار ضعیف اتصال مثلث).
- ✓ اتوترانس ها با اتصال ستاره -ستاره دارای سیم پیچ ثالثیه مثلث هستند.

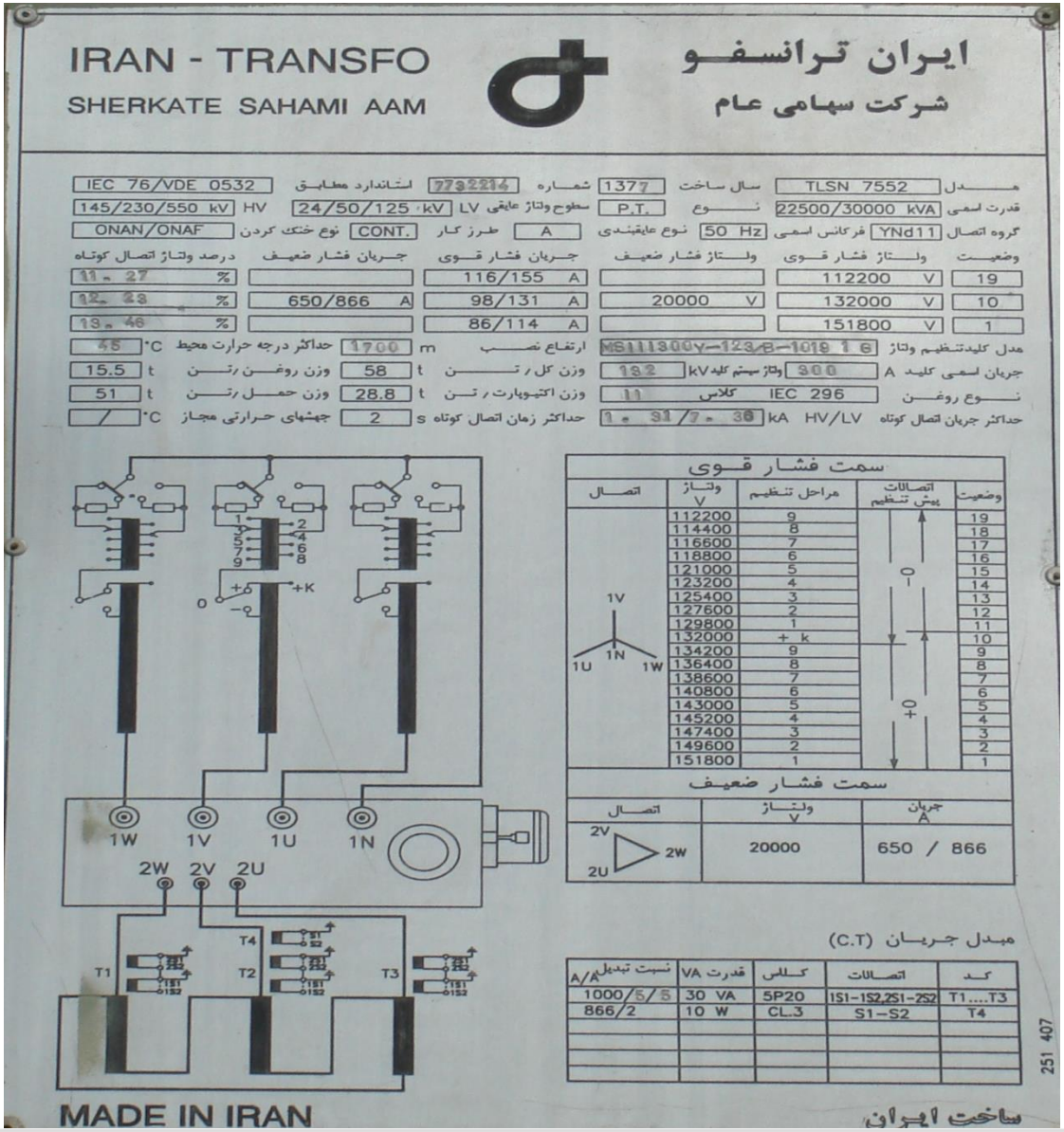
سوال: اتصال های معمول انواع ترانسفورماتورهای قدرت (براساس نوع استفاده) چگونه است؟

ساخت شرکت Alstom فرانسه

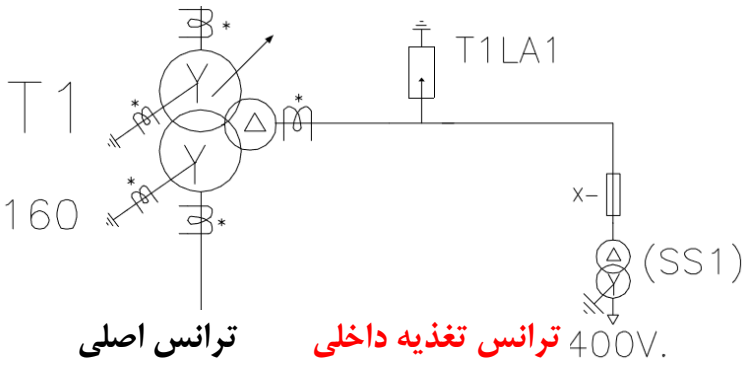
Relative Size of HV Power Transformers:



۲. ترانسفورماتورهای قدرت (نمونه ای از مشخصات)



۳. ترانسفورماتورهای تغذیه داخلی (ترانس کمکی یا Auxiliary Transformer)



ترانس اصلی ترانس تغذیه داخلی

- جهت تغذیه مصرف کنندگان AC و DC داخل پستهای انتقال (روشنایی، موتورهای الکتریکی، سیستمهای کنترل و حفاظت و ...) نیاز به ولتاژ AC ۲۲۰V و ولتاژهای DC ۱۱۰ (یا ۱۲۵) و ۴۸ ولت می باشد (از ترانس توزیع تغذیه داخلی با ولتاژ خروجی ۴۰۰V (فاز به فاز) که در مجاورت ترانس قدرت قرار دارد، استفاده می شود)

- در پستهای با چند سطح ولتاژ در صورت امکان بهتر است ترانس تغذیه داخلی در سوئیچگیر با ولتاژ بالاتر نصب گردد که قابلیت اطمینان با لاتری دارد.

- سیستم تغذیه AC در پستهای معمولی با کمک دو ترانسفورماتور توزیع تامین می گردد.

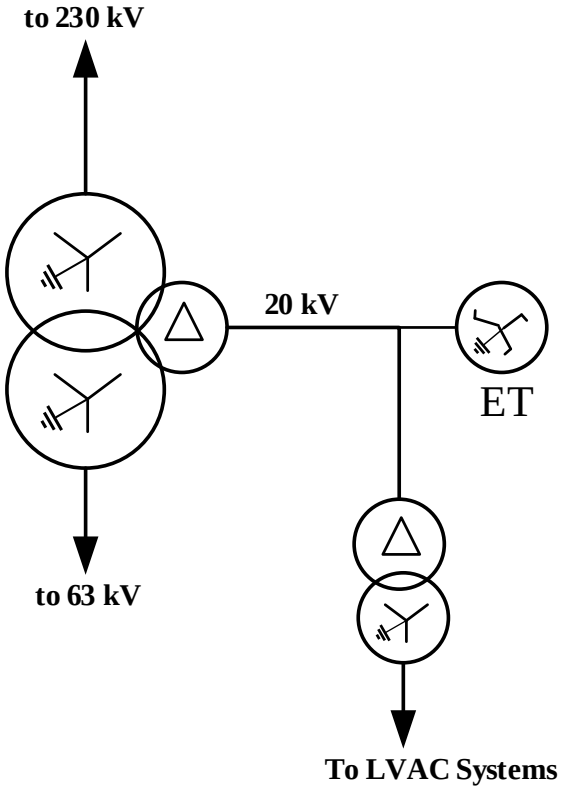
- برای افزایش قابلیت اطمینان و به ویژه در پستهایی که تغذیه مکانیزم فرمان کلید و سکسیونر با ولتاژ AC است، مناسب است از دیزل ژنراتور نیز در شرایط اضطراری استفاده گردد و یا تغذیه مناسبی از برق شهر تامین گردد.

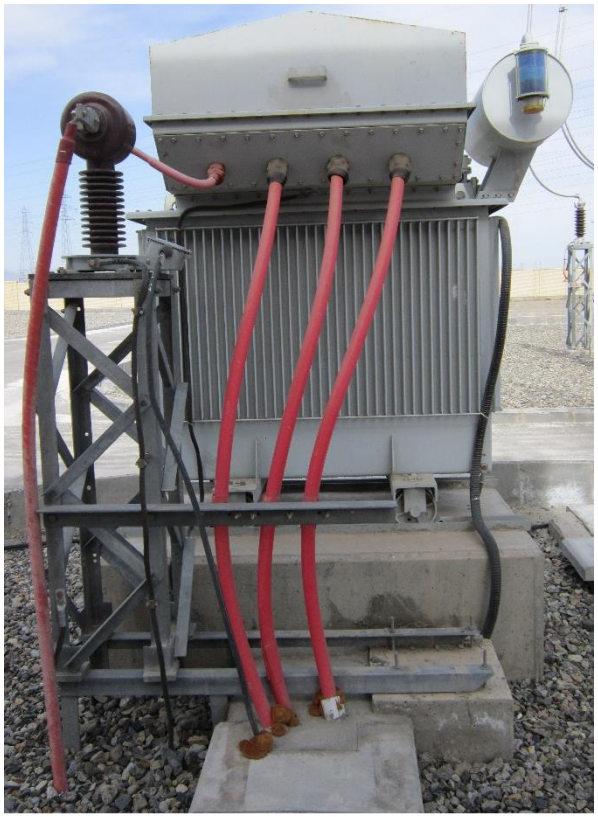
نمونه ای از مشخصات این ترانس ها:

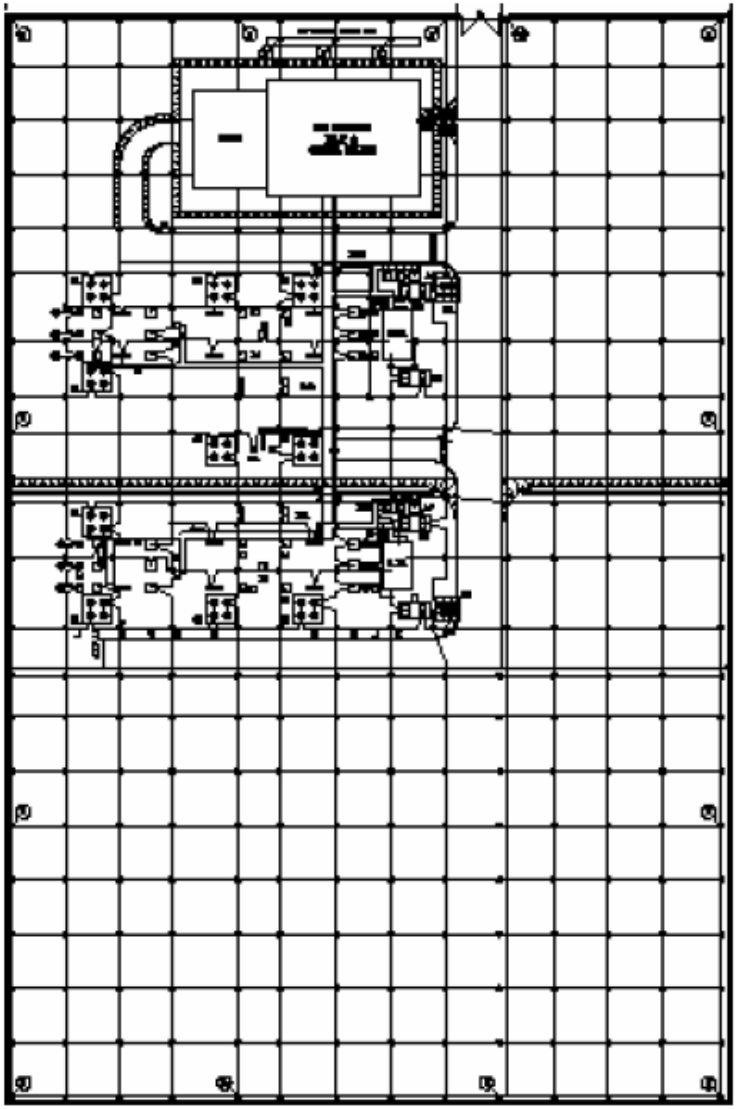
نسبت تبدیل	20/0.4 Kv
قدرت نامی	400 KVA
گروه برداری	Dyn5
تغییر ولتا ژ به ازای هر تپ	500 V
زمان اتصال کوتاه	2 SEC
امپدانس درصد	6.34 %
وزن هسته و سیم پیچ	0.707 t
جریان ورودی	11.547 A
دمای آلارم روغن	85
نوع و استاندارد روغن	IEC 60296 Mineral

٤. ترانسفورماتور زمین

- داشتن نقطه نوترال متصل به زمین از لحاظ حفاظتی، عایقی و در برخی موارد از نظر ایمنی اهمیت زیادی دارد. در صورتی که نوترال متصل به زمین وجود نداشته باشد لازم است ملاحظات فنی در طراحی تجهیزات لحاظ گردد (به ویژه برقگیر، CVT، مقره و عایق بندی تجهیزات).
- در صورت بارگیری از سیم پیچ مثلث ترانسفورماتور قدرت، معمولا از ترانسفورماتور زمین برای ایجاد نوترال مصنوعی استفاده می شود که وظیفه آن ایجاد امپدانس مولفه صفر است. برای این منظور می توان از سیم پیچ زیگزاگ استفاده نمود. امپدانس مولفه صفر ترانس به نحوی است که جریان اتصال کوتاه تکفاز در حد جریان نامی آن می باشد.

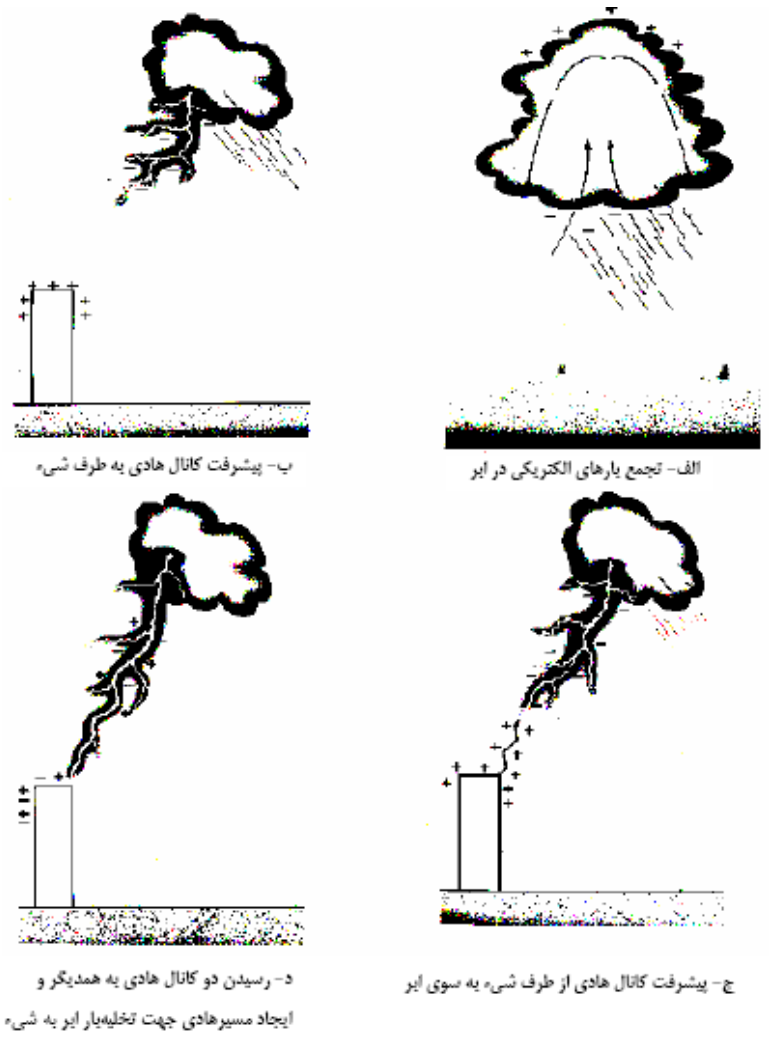


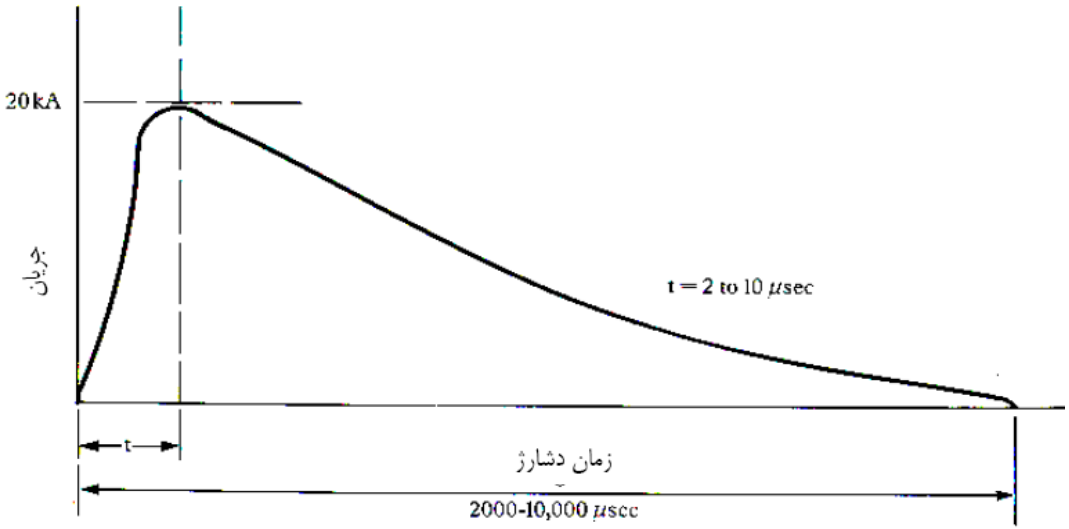




- سیستم زمین پست های فشار قوی شبکه ای از هادی های به هم متصل شده است که معمولا در عمق 0.5 یا 0.7 متری ایجاد می گردد.
- از سیستم زمین به منظور افزایش ایمنی افراد داخل و اطراف پست و همچنین حفاظت تجهیزات و وسایل فشار ضعیف از اضافه ولتاژهای غیرعادی سیستم استفاده شده و علاوه بر نوترال ترانس ها، بدنه فلزی کلیه تجهیزات به آن متصل می گردد.

- در پست های فشار قوی هوایی از نوع باز جهت جلوگیری از برخورد مستقیم صاعقه با تجهیزات از سیستم حفاظت از صاعقه استفاده می شود.
- این چتر حفاظتی که در بالای تجهیزات فشار قوی قرار می گیرد، متشکل از سیم های فولادی است که بلندترین نقاط استراکچرهای فلزی یا گنتری ها (Gantry) را به یکدیگر وصل کرده و به سیستم زمین پست متصل می گردد.





نمونه یک موج جریان صاعقه

❖ روشنایی محوطه و ساختمان کنترل:

- ✓ روشنایی موردنیاز باید با نرم افزارهایی از قبیل **Calculux** یا **Dialux** (به ویژه برای طراحی روشنایی داخل اتاق کنترل) به نحوی محاسبه گردد که علاوه بر داشتن شدت روشنایی مناسب در بخشهای مختلف، از یکنواختی نیز برخوردار باشد.
- ✓ برای روشنایی سوئیچگیر از پروژکتورها برروی گنتریها و یا سیستم روشنایی مرکزی با نصب پایه در داخل سوئیچگیر استفاده می شود.
- ✓ روشنایی جاده های دسترسی با چراغهای خیابانی و دیوار اطراف پست معمولا با پروژکتورهایی بر روی دیوار تامین می گردد.
- ✓ تعدادی چراغ با تغذیه DC در اتاق کنترل و راهروهای ساختمان کنترل و در مجاورت ترانس قدرت به عنوان **Emergency Lighting** الزامی است.

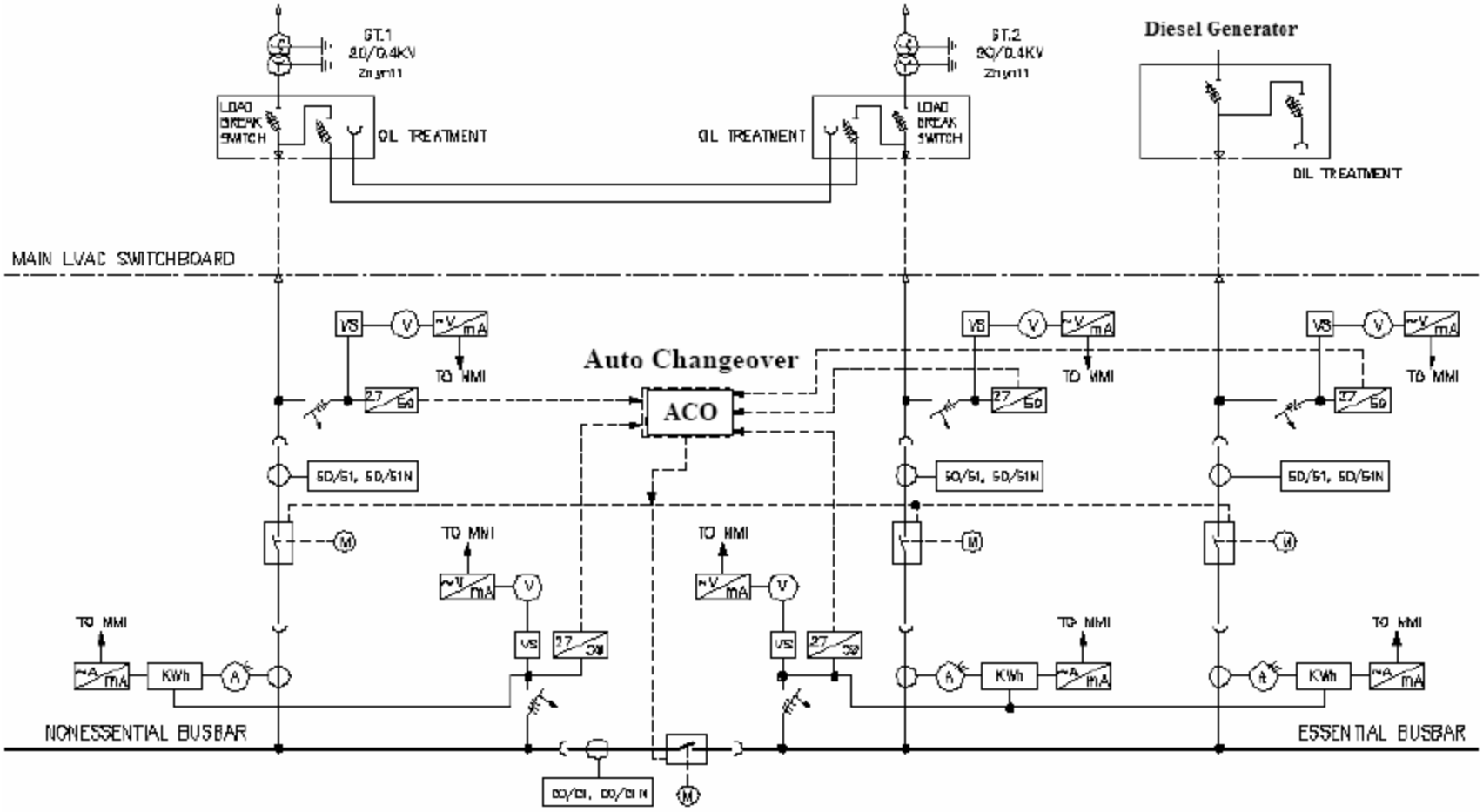
❖ سیستم کابل

- ✓ حجم قابل توجهی کابل در پستهای انتقال: برای انتقال مقادیر اندازه گیری شده ولتاژ و جریان به ساختمان کنترل؛ ارسال فرامین کنترلی یا حفاظتی بصورت اتوماتیک یا دستی به کلید قدرت، ترانسفورماتور و سکسیونر؛ کابل فشار متوسط از ترانس قدرت به اتاق سوئیچگیر فشار متوسط در ساختمان کنترل؛ مدارات ارتباطی بین سیستمهای حفاظتی با یکدیگر و با کلید و سکسیو نر (مانند اینترلاک)؛
- ✓ این کابل ها بطور منظم در کانالهای سرپوشیده در محوطه پست به سمت ساختمان کنترل هدایت می شوند. در صورت لزوم در برخی قسمتها (معمولا برای هر فیدر) از یک تابلو جهت تجمع و تقسیم و کاهش تعداد کابل ها در محوطه سوئیچگیر استفاده می شود که به آن **Marshaling Box** می گویند.

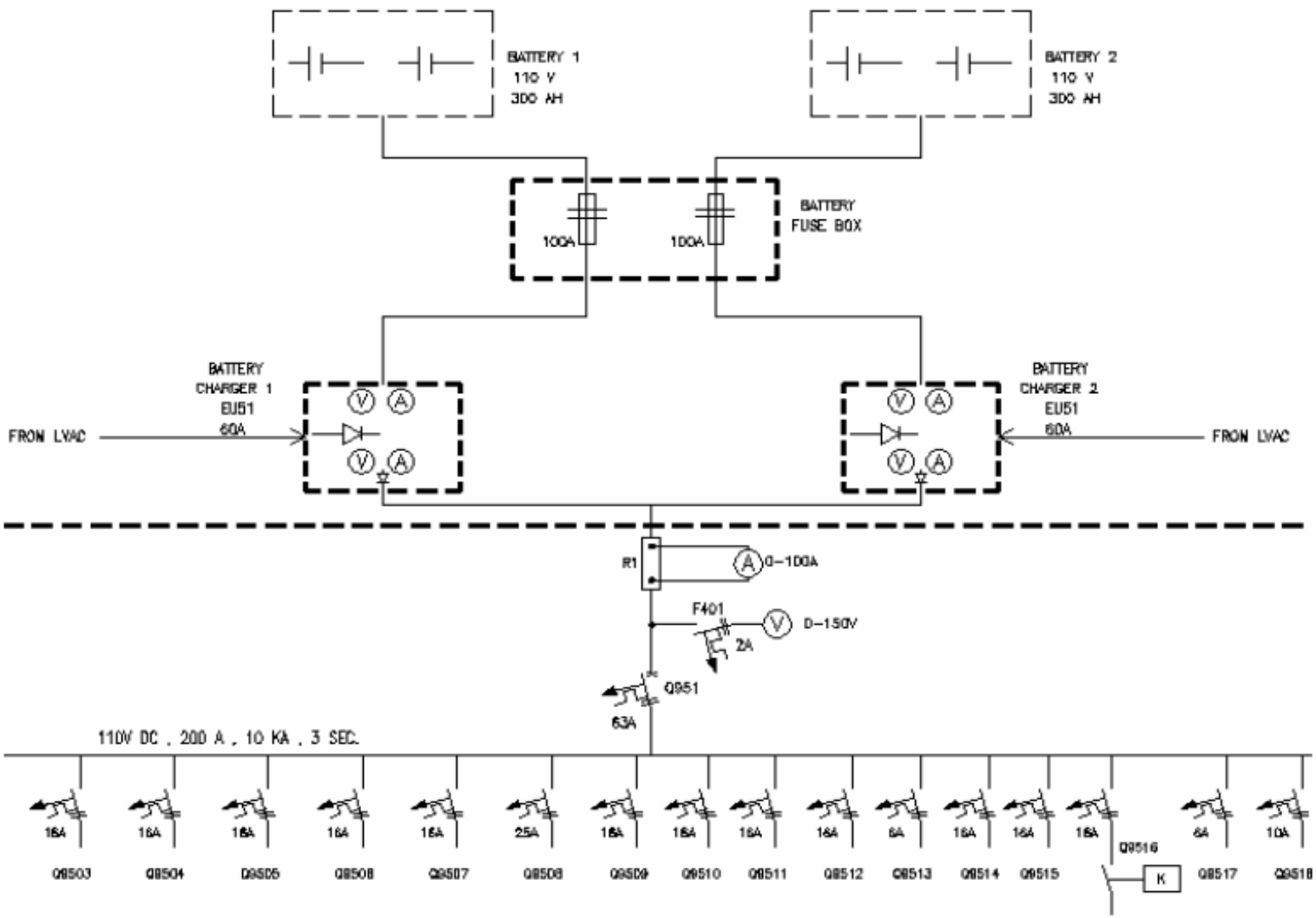
❖ سیستم تغذیه داخلی

- ✓ به منظور تغذیه تجهیزات داخل پست سیستم های تغذیه AC (۲۲۰V تکفاز و ۳۸۰V سه فاز) و DC (۴۸V برای سیستم های مخابراتی و ۱۱۰V برای سایر تجهیزات) استفاده می شود.
- ✓ از این سیستمها برای تغذیه رله های برخی تجهیزات اندازه گیری و کنترلی، موتور و مکانیزم فرمان کلید قدرت، سکسیونر و تپ چنجر ترانس ها، روشنایی، هیتر و روشنایی داخل تابلوها و ... استفاده می شود.
- ✓ تغذیه AC معمولا از دو ترانس کمکی پست تامین می شود (همچنین دیزل ژنراتور استفاده می شود)
- ✓ تغذیه DC از مجموعه باتری های موجود در پست تامین می شود که توسط Battery Charger همواره تحت شارژ کامل قرار دارند و در صورت معیوب شدن باتری شارژر و یا بی برقی کامل پست قادرند برای مدت معینی توان مورد نیاز تجهیزات با تغذیه DC را تامین نمایند (بهتر است تغذیه مکانیزم فرمان کلید و سکسیونرها DC باشد تا در مواقع بی برقی کامل پست بتوان مانورها را اجرا کرد).

Typical Single Line Diagram of AC System



Typical Single Line Diagram of DC System in small S.S.



۷. تجهیزات جانبی الکتریکی (ادامه)

نمونه ای از اینورتر در یک پست

نمونه ای از شارژر ۱۱۰ ولت در یک پست

۸. تجهیزات جانبی غیرالکتریکی

- در پست های بزرگ که دید کافی از ساختمان کنترل به درب ورودی وجود ندارد از ساختمان نگهبانی در مجاورت درب اصلی استفاده می شود. در پستهای کوچک معمولا درب بازکن مجهز به دوربین کفایت می کند.
- به منظور دسترسی به تجهیزات فشارقوی (به ویژه ترانس و کلید قدر ت) جهت سرویس، تعمیر، نگهداری و تعمیر آنها لازم است از جاده دسترس ی با عرض مناسب در اطراف و گاهی در داخل سوئیچگیر استفاده شود. معمولا جاده ورودی به پست تا مجاورت ترانسفورماتورها حدود ۶ متر بوده و سایر جاده ها می تواند با عرض کمتر باشد.
- تجهیزاتی نظیر ترانس و راکتور که حجم زیادی از روغن داخل آنها وجود دارد،آتش زا بوده و بایستی جهت اطفاء حریق احتمالی و جلوگیری از گسترش آ ن چاره اندیشی نمود.

۹-۱) سازه های فلزی (Steel Structure)

- ✓ استقرار تجهیزات فشار قوی
- ✓ رعایت فاصله ایمنی از قسمتهای برقدار: ارتفاع سازه های فلزی به نحوی است که افراد آزادانه در زیر تجهیزات برقدار تردد کنند.
- ✓ گنتری (Gantry) معروفترین سازه پست است که هادیهای خط انتقال هوایی در ابتدای ورود به پست به آن متصل می گردند

۹-۲) فونداسیون (Foundation)

- ✓ تجهیزات پست و سازه های فلزی دارای وزن بالایی بوده و لازم است که بر روی فونداسیون با ابعاد مناسب نصب گردند.
- ✓ فونداسیونها از نوع بتن مسلح (آرماتوردار) بوده و معمولا از سطح تمام شده پست حدود ۱۵ سانتی متر بالاتر می باشند.
- ✓ فونداسیون بایستی علاوه بر تحمل نیروهای استاتیکی و ثابت ناشی از وزن تجهیزات، قادر به تحمل نیروهای اضافی ناشی از اتصال کوتاه، زلزله، باد شدید و ... نیز باشند.

۹-۳) اتاق کنترل (Control Room)

- ✓ محل استقرار اپراتور پست برای کنترل تجهیزات و شامل چندین تابلو
- ✓ این تابلوها به شکل منظمی در اتاق کنترل چیده می شوند که نحوه چیدمان آنها در نقشه ای تحت عنوان Panel Arrangement ارائه می شود.
- ✓ تابلوهای موجود در اتاق کنترل عبارتند از:
  - تابلوهای کنترل فیدرها به همراه تجهیزات نمایش دهنده کمیات اندازه گیری شده (Control Panel):
    - در فیدرهای فشار قوی معمولا هر تابلوی کنترل به یک فیدر اختصاص می یابد ولی در فشارمتوسط سه یا چهار فیدر (تابلو شامل فرمان قطع و وصل کلید و سکسیونر، مشاهده کمیات اندازه گیری مانند ولتاژ و جریان، پنجره آلارم و لامپهای هشداردهنده است)
    - تابلوهای کنترل مطابق شمای تک خطی پست کنار یکدیگر چیده شده و براساس دیاگرام تک خطی ساده شده پست، دیاگرام میمیک (Mimic Diagram) با نوارهای رنگی روی هر تابلو نقش بسته است.
  - تابلوهای کنترل ولتاژ –کنترل اتوماتیک تپ ترانس (AVR Panel)
  - تابلوی سنکروسوپ (Synchroscope Panel)
  - ثبات وقایع (Event Recorder)
  - ثبات خطا (Fault Recorder)
  - در پستهای کوچک، ممکن است تابلوهای تغذیه داخلی همچنین تابلوهای حفاظتی نیز در این اتاق قرار گیرند

۹-۴) اتاق رله (Relay Room)

✓ در پستهای انتقال (۲۳۰ و ۴۰۰) و یا پستهای فوق توزیع بزرگ اتاق مجزایی در ساختمان کنترل به نام اتاق رله با ویژگیهای زیر در نظر گرفته می شود:

- محل استقرار تابلوهای مربوط به رله های حفاظتی است.
- تابلوهای تغذیه داخلی AC و DCو گاهی تابلوهای مربوط به سیستم مخابراتی نیز در این اتاق نصب می گردد.
- دسترسی به رله های حفاظتی جهت تغییر تنظیمات و یا resetنمودن رله هایی که تریپ داده اند، لازم بوده و لذا نیازی به استقرار آنها در اتاق کنترل نیست و در پست های بزرگ از اتاق رله در مجاورت اتاق کنترل برای این منظور استفاده می شود.

نکته: در پست های جدید DCS، بر خلاف پستهای Conventional در سطوح ولتاژ ۴۰۰ و ۲۳۰ کیلوولت، تابلوهای کنترل و حفاظت از حالت متمرکز خارج و تابلوهای مربوط به هر بی (Bay) در اتاق های موسوم به BCR (Bay Control Room) توزیع می شوند.

۹–۵) اتاق باتری (Battery Room)

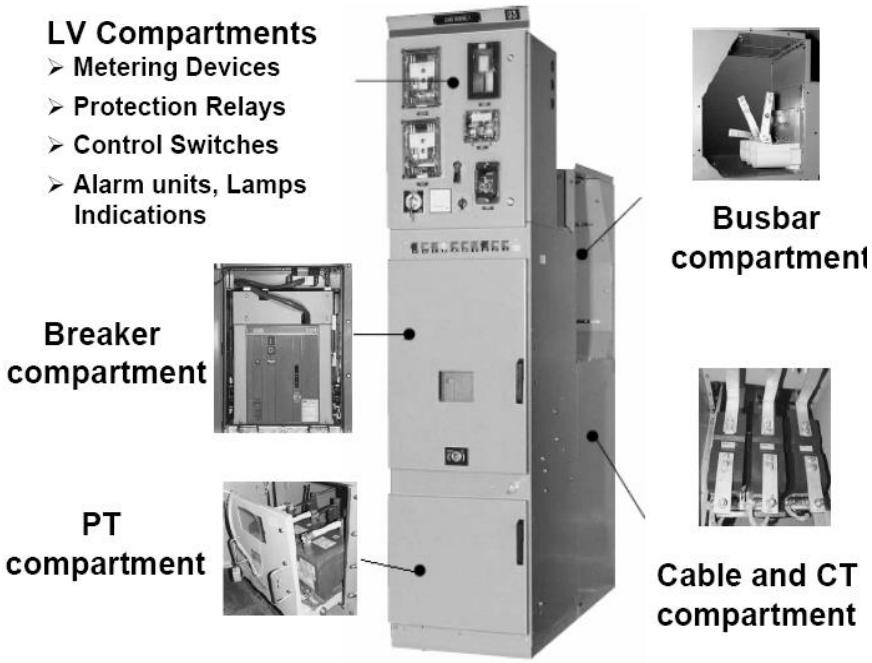
- ✓ ظرفیت مجموعه باتری ها بر اساس میزان مصرف پست تعیین شده و در پست های انتقال و فوق توزیع بزرگ، برای داشتن قابلیت اطمینان بیشتر از دو مجموعه باتری استفاده می شود.
- ✓ کلیه باتری ها به همراه جهبه فیوز، در یک اتاق مجزای ضد اسید به نام اتاق باتری نصب می شوند که در قسمت بیرونی ساختمان کنترل قرار گرفته است. این اتاق باید دارای تهویه مناسب، کف آن سرامیک و به دور از نور آفتاب باشد.

۹–۶) اتاق سوئیچگیر فشار متوسط (Switchgear Room)

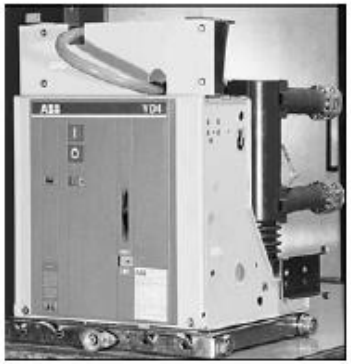
- ✓ در پست هایی که دارای سوئیچگیر فشار متوسط هستند (مثلا ۲۰kV)، کلیه تجهیزات مربوط به هر یک از فیدرهای ورودی و خروجی فشار متوسط شامل کلید قدرت، CT، باس بار و تجهیزات کنترلی و حفاظتی در داخل یک تابلوی فشار متوسط نصب می شود.
- ✓ این تابلوها داخل اتاق سوئیچگیر فشار متوسط (در مجاورت اتاق کنترل) مطابق شمای تک خطی پست کنار یکدیگر چیده می شوند.
- ✓ کلید قدرت بصورت کشویی بیرون آمده و از ولتاژ ایزوله می شود، لذا نیازی به استفاده از سکسیونر در هر فیدر ندارد.

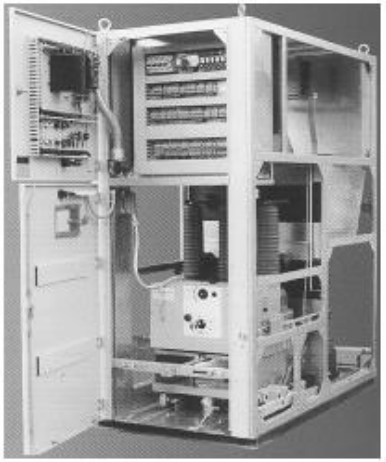
۹–۷) اتاقهای دیگر نظیر اتاقهای استراحت، کنفرانس، بایگانی، آشپزخانه، انبار، دستشویی، حمام و اتاق مخابرات

Switchgear, Medium Voltage
(11kV Panels)



کلید قدرت MV به صورت کشویی





- وظیفه سیستم های حفاظتی تشخیص سریع خطا در شبکه قدرت است که با ارسال فرمان به کلید قدرت قسمتهای معیوب را از شبکه جدا می کند.
- با استفاده از سیستم های کنترلی می توان کلیدهای قدرت و سکسیونرها را با رعایت اینترلاکهای الکتریکی قطع و وصل نمود و تپ ترانسفورماتور را تغییر داد.
- سیستم های اندازه گیری وظیفه اندازه گیری پارامترها و کمیات الکتریکی را بر عهده دارند:
  - ✓ اندازه گیرهای کمیت ها برای پایش شبکه شامل آمپرمتر، ولت متر، وات متر، وارمتر، ضریب قدرت متر و سنجش هارمونیک (گاهی از یک مولتی متر دیجیتال به نام Measuring Center استفاده می شود که تمام این کمیات را اندازه گیری و ثبت می نماید)؛
  - ✓ کنتورهای سنجش انرژی برای اهداف بازار برق

سوال: اهمیت صحت برای اندازه گیریهای حفاظتی مهمتر است یا اندازه گیریهای پارامترها و کمیت های شبکه برای اهداف پایش و سنجش؟ چگونه در پست ها لحاظ می شود؟

- از خازن موازی (Shunt Capacitor) به منظور اصلاح ضریب توان، آزادسازی ظرفیت انتقال خط و ترانسفورماتور، کنترل ولتاژ و کاهش تلفات استفاده می شود. این خازن ها معمولا در پست های توزیع و یا فیدرهای فشار ضعیف نصب می شوند ولی گاهی در پست های فوق توزیع و یا انتقال هم بکار می روند.

- راکتور موازی (Shunt Reactor) جهت جبران خازن خطوط انتقال و جلوگیری از افزایش ولتاژ انتهای خطوط کم بار (یا بی بار)، بهبود شرایط سنکرونایزینگ خط انتقال با شبکه و بهبود شرایط باز-وصل (Recloser) تکفاز مورداستفاده قرار می گیرد:
  - ✓ با توجه به نوع کاربرد می توان راکتور را بر روی شینه بندی، در دو انتهای خط انتقال و یا بر روی سیم پیچ ثالثیه ترانسفورماتور قرار داد.
  - ✓ راکتور سر خط معمولا با سکسیونر به خط انتقال متصل شده و در نتیجه قابل قطع و وصل در خط برق دار نیستند (Nonswitchable) و برای کنترل و حفاظت آنها از کلید قدرت خط انتقال استفاده می شود. راکتورهای شینه بندی و نیز راکتور متصل به سیم پیچ ثالثیه ترانسفورماتور معمولا مجهز به کلید قدرت بوده و لذا قابل قطع و وصل (Switchable) هستند.

❖ این سیستم جهت انتقال وضعیت کلیدهای قدرت و برخی کمیات اندازه گیری شده به مرکز کنترل (Telemetry)، ارسال و یا دریافت سیگنال های حفاظتی از پست های مجاور (Tele protection) و انجام مکالمه با مرکز کنترل و یا پست های مجاور مورد استفاده قرار گرفته و معمولا یکی از انواع زیر است:

- ✓ PLC
- ✓ فیبر نوری (Fiber Obtic)
- ✓ Micro-wave

❖ در کنار بسترهای فوق:

- ✓ معمولا از تلفن کابلی برای ارتباط مستقیم با مرکز کنترل (DTS)، و بی سیم به عنوان سیستم مکمل تلفن کابلی و یا جایگزین آن و همچنین در کاربردهایی نظیر تعمیرات خطوط انتقال استفاده می شود.
- ✓ همچنین ممکن است از خطوط تلفن ثابت (PSTN) و همراه (GSM/GPRS) برای قرائت انرژی استفاده شود.

سیستم بی سیم یک پست

تلفن DTS در مرکز کنترل (دیسپاچینگ)

- سیگنال مخابراتی در محدوده فرکانسی ۳۰ تا ۵۰۰ کیلوهرتز از طریق یک یا دو فاز خط انتقال و با سرعت ۶۰۰ یا ۱۲۰۰ بیت در ثانیه ارسال شده و در انتهای خط انتقال توسط لاین تراپ و سایرتجهیزات این سیستم، سیگنال مخابراتی از ولتاژ فشار قوی جدا می شود.
- با توجه به اینکه انتقال سیگنال از طریق خط انتقال انجام می شود، اجرای این سیستم ساده و ارزان بوده و در اکثر پست های ایران استفاده شده است.
- در پستهایی که نیازی به حضور اپراتور در پست نبوده (Un-man) و کنترل پست از مرکز کنترل انجام می شود به دلیل سرعت پایین این سیستم و لزوم ارسال حجم بالای اطلاعات پست به مرکز کنترل، نمی توان از این سیستم استفاده کرد.

❖ سیستم Micro-wave:

✓ سیگنال به صورت امواج رادیویی و بدون سیم منتقل شده و توسط گیرنده های رادیویی در مقصد دریافت می شود:

- برای انتقال سیگنالهای کنترلی از مرکز کنترل (Tele-control) و ارسال سیگنال های وضعیت و اندازه گیری شده به مرکز کنترل و انجام مکالمه مناسب است ولی برای Tele-protection قابلیت اطمینان کافی را نداشته و معمولا برای این منظور استفاده نمی شود.
- برد آن در حد چند ده کیلومتر بوده و در فواصل بیشتر نیاز به تقویت کننده (Repeater) دارد .
- به عنوان نمونه این سیستم جهت ارتباط تعدادی از پست های فوق توزیع تهران با دیسپاچینگ فوق توزیع مورد استفاده قرار گرفته است.

❖ سیستم فیبر نوری:

✓ فیبر نوری شامل چندین رشته بسیار نازک بوده که از داخل سیم فولادی شیلد (گارد) خط انتقال عبور داده می شود

✓ هزینه اولیه اجرای این روش خیلی زیاد است، ولی دارای پهنای باند وسیعی (در حد چندین مگابیت در ثانیه) می باشد. لذ ا دارای سرعت زیاد انتقال اطلاعات، نویز پذیری کم و قابلیت اطمینان بالا بوده و در پستهای اتوماسیون نیز مناسب می باشد.

✓ نقشه راه صنعت برق ایران، استفاده از این بستر برای کل پست های شبکه برق است (در حال حاضر به صورت کامل نیست).

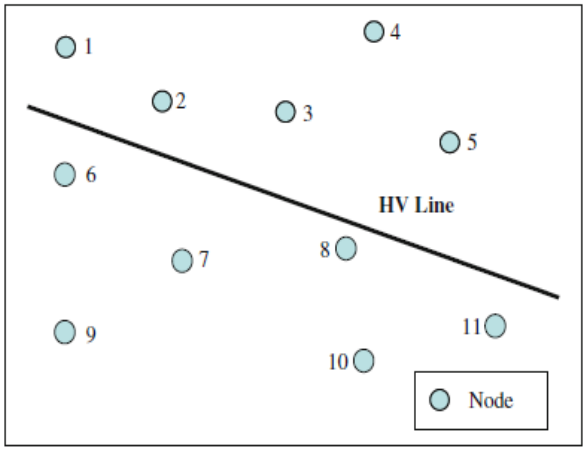
استانداردهای مهم

- استاندارد IEC (International Electrotechnical Commission): بین المللی و در اکثر شرکتهای برقی استفاده می شود.
- استاندارد ANSI (American National Standards Institute): بیشتر در کشورهای آمریکایی و کانادایی استفاده می شود.
- استاندارد VDE یا DIN (Deutsches Institut für Normung): مربوط به کشور آلمان که در برخی از کشورهای اروپایی استفاده می شود.

- در کشور ایران بیشتر استانداردهای طراحی پست و صنعت برق برگرفته از استانداردهای IEC هستند (در سایت وزارت نیرو: http://powerstandards.moe.gov.ir/).

- به عنوان مثال براساس IEC، سطوح ولتاژ نامی سیستم های قدرت عبارتند از:
  - ✓ گروه ولتاژ ضعیف یا LV (Low Voltage): به ولتاژهای تا ۱kV که مقادیر استاندارد آن شامل ۱۱۰، ۲۲۰، ۴۰۰، ۶۶۰، ۸۵۰ و ۱۰۰۰V است.
  - ✓ گروه ولتاژ متوسط یا MV (Medium Voltage): به ولتاژهای بالاتر از ۱kV و کمتر از ۶۳kV که مقادیر استاندارد آن شامل ۲/۴، ۳/۶، ۷/۲، ۱۲، ۱۷/۵، ۲۴، ۳۶ و ۵۲kV است.
  - ✓ گروه ولتاژ زیاد یا HV (High Voltage): به ولتاژهای ۶۳kV و بالاتر تا ۲۴۵kV که مقادیر استاندارد آن شامل ۷۲/۵، ۱۰۰، ۱۲۳، ۱۴۵، ۱۷۰ و ۲۴۵kV است.
  - ✓ گروه ولتاژ خیلی زیاد یا EHV (Extra High Voltage): به ولتاژهای بالاتر از ۲۴۵kV که مقادیر استاندارد آن شامل ۳۰۰، ۳۶۲، ۴۲۰، ۵۲۵ و ۷۶۵kV است.
  - ✓ گروه ولتاژ فوق العاده زیاد یا UHV (Ultra High Voltage): به ولتاژهای بالاتر از ۸۰۰kV اطلاق می گردد.

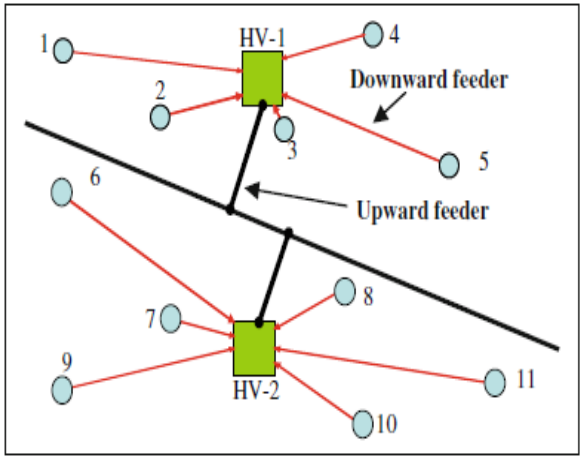
- ولتاژهای DC نیز در گروه های EHV و UHV رده بندی می شوند و HVDC نام دارند.
- در شبکه سراسری ایران ولتاژهای متفاوتی از سطوح فوق وجود دارد:
  - ✓ ولتاژهای انتقال: ۰/۴، ۱۱، ۲۰، ۳۳، ۶۳، ۶۶، ۱۳۲، ۲۳۰ و ۴۰۰
  - ✓ البته، در برخی صنایع ۶kV هم استفاده می شود.



❖ مرحله اول: ضرورت احداث پست

- ✓ با توجه مطالعات برنامه ریزی (Power System Planning)، پیش بینی بار در بازهٔ حداقل ۱۰ ساله انجام می گیرد؛
- ✓ تعیین توزیع بار؛
- ✓ مطالعات سیستمی شبکه (محاسبات افت ولتاژ، بارگذاری ها، تلفات و ...)؛
- ✓ بررسی وضعیت پست های فشارقوی و متوسط موجود و امکان توسعه آن ها؛
- ✓ مطالعات جغرافیایی و بررسی راه حل های تامین بار از مناطق مختلف.

❖ مرحله دوم: تعیین محل پست



- ✓ نزدیکی به مرکز ثقل بار؛
- ✓ امکان تغذیه پست از طریق خطوط فشارقوی؛
- ✓ امکان حمل و نقل تجهیزات پست؛
- ✓ فاصله مجاز تا باند فرودگاه، لوله های گاز و نفت و همچنین، فاصله کافی تا مراکز صنعتی آلوده؛
- ✓ آبرسانی به پست امکانپذیر و انجام عملیات ساختمانی مقرون به صرفه باشد؛
- ✓ زمین پست دور از مسیر سیلابها باشد؛
- ✓ خرید و تصرف زمین امکان پذیر باشد؛ و
- ✓ ....

مراحل طراحی پست های الکتریکی (ادامه)

❖ مرحله سوم: تعیین ظرفیت ترانسفورماتورهای قدرت

- ✓ بررسی منحنی های پیک بار روزانه؛
- ✓ پیش بینی بار پیک متوسط در بازه حداقل ۱۰ سال؛
- ✓ انتخاب ظرفیت ترانسفورماتورها براساس ملاحظات قابلیت اطمینان (Reliability): معمولاً ظرفیت کل ترانسفورماتورها بین ۱/۵ تا ۲/۵ برابر بار پیک انتخاب می گردد (تعداد ترانسفورماتورها نیز با توجه به موضوع تعمیر و نگهداری اهمیت دارد).

❖ مرحله چهارم: تهیه نقشه های اولیه پست

- ✓ تهیه نقشه تک خطی (تعیین طرح شینه بندی، تعداد خطوط ورودی و خروجی و تعداد ترانس ها)؛
- ✓ تهیه نقشه های نماهای جانبی، افقی، و قائم تجهیزات، محل استقرار تجهیزات و پایه های فلزی و فونداسیون های بتنی؛
- ✓ نقشه های ساختمان سازی مانند اتاق کنترل، حفاظت و ....
- ✓ تعیین نقشه های حفاظتی برای ترانس ها، خطوط و سایر تجهیزات قدرت؛
- ✓ تعیین محل استقرار تابلوهای فرمان و حفاظت.

مراحل طراحی پست های الکتریکی (ادامه)

❖ مرحله پنجم: طراحی، محاسبات و تعیین مشخصات فنی تجهیزات پست

- ✓ محاسبات اتصال کوتاه با توجه به توسعه آینده شبکه که برای انتخاب تجهیزات پست اهمیت دارد؛
- ✓ محاسبات و طراحی شینه بندی؛
- ✓ تعیین مشخصات فنی ترانس های قدرت؛
- ✓ محاسبات انتخاب کلیدهای قدرت شامل مدارشکن ها و دیسکانکت ها؛
- ✓ طراحی و محاسبه شبکه زمین؛
- ✓ انتخاب ترانس های اندازه گیری؛
- ✓ تعیین سیستم های حفاظتی و مشخصات رله ها و هماهنگی رله ها؛
- ✓ تعیین دستگاه های اندازه گیری (Metering Systems): کمیت های الکتریکی و سنجش انرژی؛
- ✓ طراحی و محاسبات مربوط به مصارف داخلی AC و DC؛
- ✓ محاسبات انتخاب راکتور و بانک خازنی در صورت لزوم؛
- ✓ طراحی مدارت فرمان؛
- ✓ محاسبات کابل های قدرت و سیم های هوایی؛
- ✓ طرح سیستم PLC و سایر تجهیزات ارتباطی؛
- ✓ محاسبات پایه های نگهدارندهٔ فلزی (Steel Structure)
- ✓ تهیه نقشه های اجرائی پست.

پارامترهای مهم در طراحی پست

❖ اطلاعات الکتریکی (Electrical Information)

- ولتاژ نامی (Un)
- ولتاژ حداکثر کار (Um)
- فرکانس نامی
- جریان نامی
- جریان اتصال کوتاه
- سطح عایقی (BIL)
- سیستم اتصال فازها

❖ پارامترهای محیطی (Environmental Parameters)

- درجه حرارت حداکثر مطلق
- درجه حرارت حداقل مطلق
- حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه
- ارتفاع از سطح دریا
- سرعت باد
- شتاب زلزله
- ضخامت یخ
- آلودگی محیط
- رطوبت هوا
- تعداد روزهای وقوع رعد و برق (سطح ایزوکرونیک)
- مطالعات زمین شناسی و نقشه برداری

❖ ولتاژ نامی یا Un (Rated Voltage)

- مقدار موثر ولتاژ خطی سیستم است که با توجه به مقادیر استاندارد و با توجه به پارامترهای زیر تعیین می شود:

✓ طول خط انتقال
✓ قدرت انتقالی (ظرفیت پست) و توجه به نیاز منطقه
✓ پستها و خطوط انتقال موجود
✓ مسایل مرتبط با پایداری شبکه
✓ پارامترهای اقتصادی
✓ افت ولتاژ و تلفات

❖ ولتاژ حداکثر کار یا Um (Highest Voltage)

- حداکثر مقدار نامی ولتاژ موثر خطی سیستم که ممکن است به صورت دائمی در شبکه به وجود آید.

U_n [kV]	۱۱	۲۰	۳۳	۶۶و۶۳	۱۳۲	۲۳۰	۴۰۰
U_m [kV]	۱۲	۲۴	۳۶	۷۲/۵	۱۴۵	۲۴۵	۴۲۰

❖ فرکانس نامی (Rated Frequency)

- فرکانس نامی سیستم های قدرت ۵۰ یا ۶۰ هرتز می باشد.
- فرکانس سیستم در طراحی ژنراتور، موتور و ترانسفورماتور به دلیل تاثیر قابل توجه در تلفات و ابعاد هسته آهنی تاثیر قابل توجهی دارد.
- در سایر تجهیزات پست تاثیر فرکانس معمولا محدود به اثر پوستی و تاثیر ناچیز در مقاومت شده و لذا این تجهیزات را می توان در هر دو فرکانس متداول استفاده نمود.

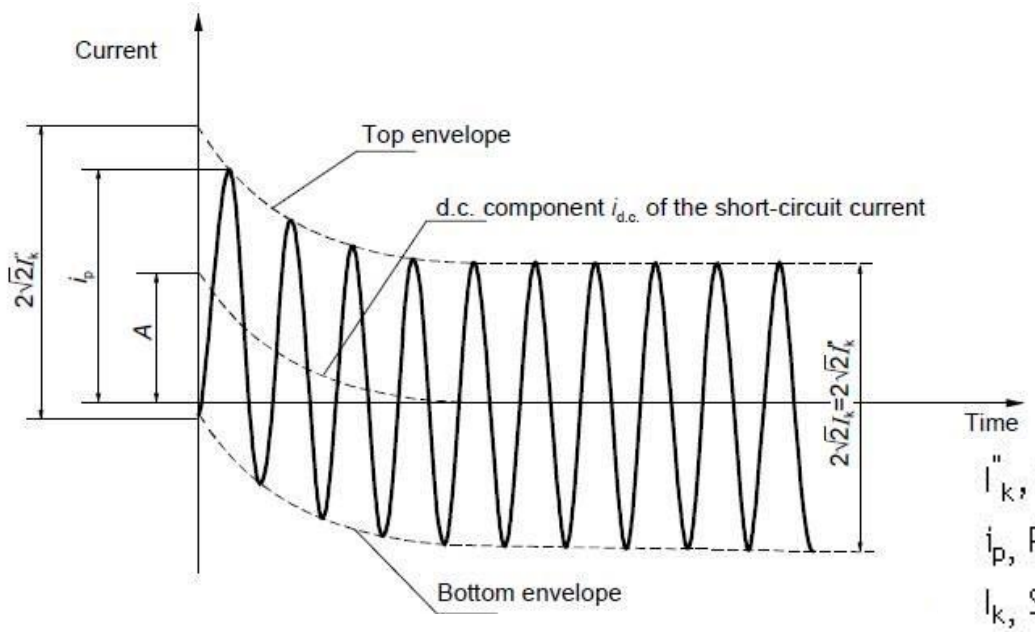
❖ جریان نامی (Rated Current)

- حداکثر جریانی است که تحت شرایط کار مشخص شده می تواند از تجهیز عبور نموده و در حالت تعادل دمایی درجه حرارت از مقدار مجاز تجاوز ننماید.

❖ جریان اتصال کوتاه نامی (Rated Short Circuit Current)

- عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات دارای دو اثر مکانیکی و حرارتی است.
- جریان اتصال کوتاه نامی جهت انجام محاسبات حرارتی و مکانیکی در باس بارها، محاسبات سیستم زمین و تعیین قابلیت تحمل جریان اتصال کوتاه تجهیزات به ویژه تعیین قدرت قطع کلیدها اهمیت دارد.
- جهت تنظیم رله ها از مقادیر واقعی جریان اتصال کوتاه و جریان عبوری از خط یا ترانسفورماتور استفاده می شود.

شکل موج جریان اتصال کوتاه در شبکه دور از ژنراتور



I''_k, Initial symmetrical short circuit current

i_p, Peak short-circuit current

I_k, Steady state short-circuit current

i_{DC}, Decaying d.c. component of short circuit current

A, Initial value of i_{DC}

IEC 60909-1

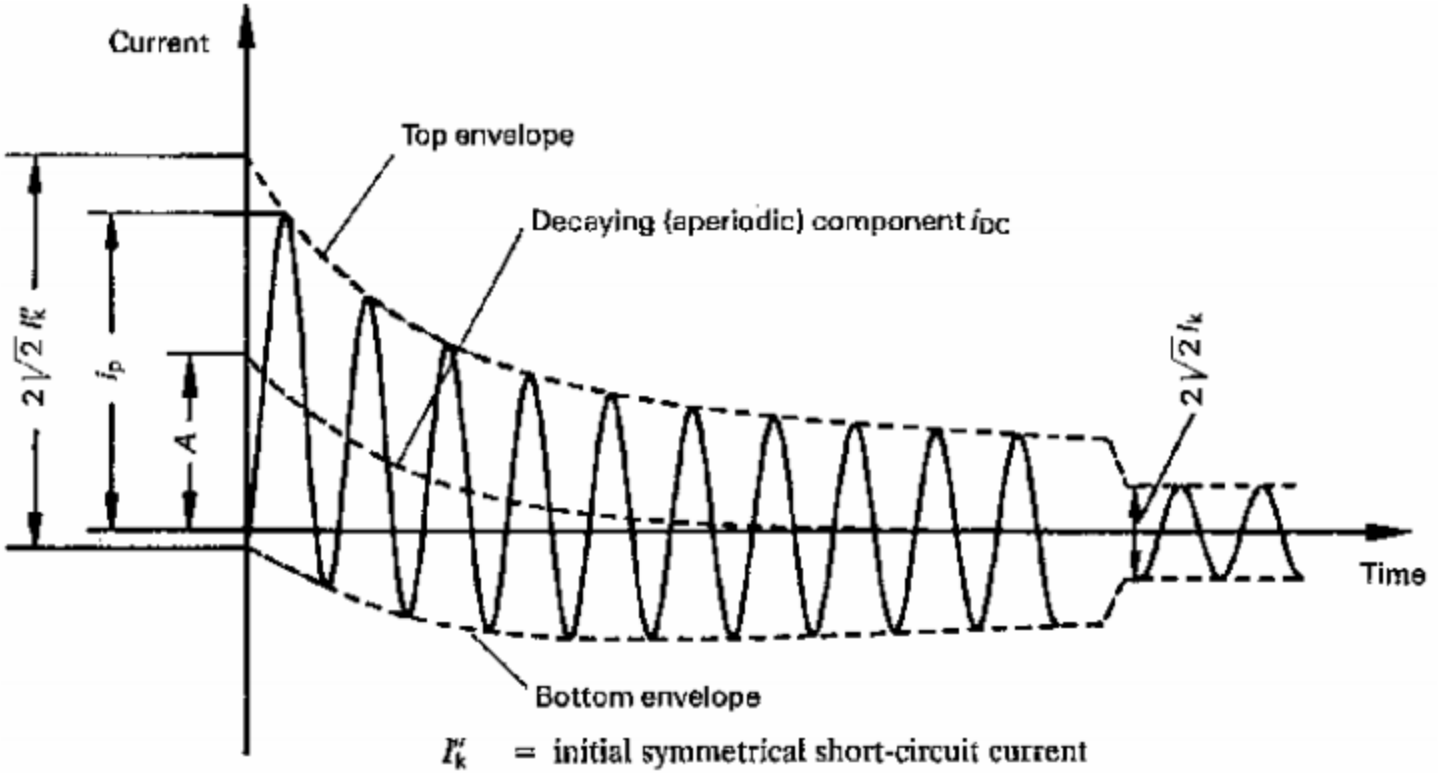
$$i_k(t) = \sqrt{2} I''_k [\sin(\omega t + \varphi_u - \gamma) + e^{-\frac{R}{X}\omega t} \sin(\gamma - \varphi_u)]$$

γ *is the impedance angle* $= tg^{-1}\frac{X}{R}$

φ_u *is the voltage angle at the beginning of the S.C.*

$I''_k = \frac{cU_n}{\sqrt{3}|Z_k|}$, c is voltage factor

شکل موج جریان اتصال کوتاه در نزدیکی ژنراتور



I''_k = initial symmetrical short-circuit current
i_p = peak short-circuit current
I_k = steady-state short-circuit current
i_{DC} = decaying (aperiodic) component of short-circuit current
A = initial value of the aperiodic component i_{DC}

مولفه های جریان اتصال کوتاه

۱. جریان اتصال کوتاه متقارن اولیه
Initial Symmetrical Short Circuit Current

این مولفه از جریان با I''_k نمایش داده می شود و عبارت است از مقدار موثر جریان اتصال کوتاه در لحظه شروع اتصال کوتاه.

۲. پیک جریان اتصال کوتاه Peak Short Circuit Current

پیک جریان اتصال کوتاه که با i_p نمایش داده می شود عبارت است از حداکثر مقدار لحظه ای جریان بعد از شروع اتصال کوتاه. i_p معمولا ۲/۵ برابر I''_k در نظر گرفته می شود ولی مقدار دقیقتر آن با توجه به نسبت X/R سیستم قدرت در باس مورد مطالعه از رابطه زیر بدست می آید.

$$i_p = \kappa\sqrt{2}I''_k \quad , \quad \kappa = 1.02 + 0.98e^{-3R/X}$$

۳. جریان اتصال کوتاه حالت ماندگار
Sustained Short Circuit Current

مقدار موثر مولفه متقارن جریان اتصال کوتاه (پس از رسیدن به حالت ماندگار و از بین رفتن مولفه dc و ac میرایی "decaying dc & ac") که با I_k نمایش داده می شود. در اتصال کوتاه دور از ژنراتور، برابر I''_k می باشد.

مقادیر جریان اتصال کوتاه حالت ماندگار مطابق استاندارد عبارتند از:

$$I_k\,[kA] = 8 - 10 - 12.5 - \underline{16} - 20 - \underline{25} - \underline{31.5} - \underline{40} - 45 - \underline{50} - 63$$

۴. مدت زمان اتصال کوتاه
Rated Duration of Short Circuit

تاثیرات ناشی از عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات

- **اثر حرارتی جریان اتصال کوتاه**

✓ عبور جریان اتصال کوتاه از تجهیزات (ترانسفورماتور، CT، هادی ها، اتصالات، کلید و سکسیونر، خط انتقا ل) باعث ایجاد حرارت می شود: RI^2t

✓ به دلیل تشخیص سریع جریان خطا توسط رله های حفاظتی، طراحی تجهیزات پست به نحوی است که درصورت عبور جریان اتصال کوتاه از آنها در زمان محدود دمای آن از حد مجاز اضطراری، تجاوز ننماید.

✓ زمان مجاز عبور جریان اتصال کوتاه نامی معمولا ۱ ثانیه در تجهیزات فشار قوی، ۳ ثانیه در تجهیزات فشار متوسط و ۲ ثانیه در ترانسفورماتور در نظر گرفته می شود.

✓ کلید قدرت بایستی علاوه بر تحمل اضافه حرارت ناشی از عبور جریان اتصال کوتاه بایستی قادر به قطع این جریان نیز باشد.

- **اثر الکترومکانیکی اتصال کوتاه**

✓ نیروی لورنتز: $\vec{F} = L.\vec{I} \times \vec{B}$

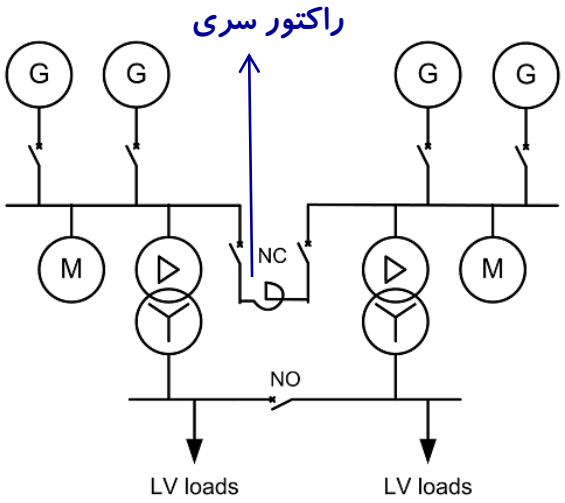
✓ بزرگترین نیروی بین هادیها معمولا به ازای عبور جریان اتصال کوتاه دو فاز از هادیها بوجود می آید که بصورت دافعه بوده و باعث وارد شدن نیرو به ترمینال تجهیزات می شود (IEC 60865).

✓ نیروی اتصالات کوتاه در تجهیزات (نظیر ترانسفورماتور) می تواند باعث خم شدن و یا دفرمه شدن هادی، از بین رفتن عایق و بروز شکست عایقی یا تخلیه جزیی شود.

نکاتی در مورد جریان اتصال کوتاه در پست ها

- ✓ یکی از تایپ تستهای تجهیزات نظیر ترانسفورماتور، تست مکانیکی و حرارتی اتصال کوتاه می باشد تا از تحمل اثرات سوء اتصال کوتاه توسط تجهیز نو اطمینان حاصل شود.

- ✓ گاهی موارد فنی-اقتصادی ایجاب می نماید تا سطح اتصال کوتاه را در پست کاهش دهیم. این عمل به ویژه در پست هایی که سطح اتصال کوتاه آنها با گسترش شبکه بیش از مقدار قابل تحمل حرارتی و یا الکترومکانیکی بوده و یا با محدودیت قطع جریان توسط کلید مواجه باشد، می تواند با روش های زیر انجام شود:
  - جداسازی شین ها؛
  - راکتورهای سری؛
  - محدودکننده های جریان خطا (FCL)؛
  - و ...



سول: شدیدترین جریان در کدام نوع اتصال کوتاه رخ می دهد؟

❖ سطح عایقی یا سطح ایزولاسیون تجهیزات یا BIL (Basic Insulation Level)

- علاوه بر اینکه تجهیزات بایستی حداکثر ولتاژ سیستم را بطور دائمی تحمل نمایند، باید توانایی تحمل اضافه ولتاژهای موقت و گذرای بوجود آمده در شبکه را در مدت زمان مشخص داشته باشند.
- مقدار قدرت تحمل این اضافه ولتاژها توسط تجهیزات (عایق بین فاز–فاز و فاز–زمین) را سطح ایزولاسیون و یا سطح عایقی گویند.
- سطوح عایقی:
  - ✓ خارجی: مقدار اضافه ولتاژهای قابل تحمل توسط مقره های عایقی تجهیزات و یا فواصل بین فازها که توسط هوا یا مقره از یکدیگر جدا شده اند (از شرایط محیطی متاثر می شوند).
  - ✓ داخلی: مقدار اضافه ولتاژهای قابل تحمل توسط عایق های داخلی تجهیزات که ممکن است از نوع جامد، مایع و یا گاز بوده و از اثرات محیط محفوظ است (معمولا از سطح عایقی خارجی پایینتر در نظر گرفته می شود)

- انواع اضافه ولتاژ قابل تحمل تجهیزات:
  - ✓ ولتاژ تحمل فرکانس قدرت (Rated Power Frequency Withstand Voltage)
  - ✓ ولتاژ تحمل ضربه صاعقه (Rated Lightning Impulse Withstand Voltage)
  - ✓ ولتاژ تحمل ضربه سوئیچینگ (Rated Switching Impulse Withstand Voltage)

ولتاژ تحمل فرکانس قدرت

- **این اضافه ولتاژها به اضافه ولتاژ موقت (Temporary Over-voltage) معروف بوده و عوامل آن:**
  - ✓ **اضافه ولتاژ بین فازهای سالم و زمین در اثر اتصال کوتاه فاز-زمین؛ چرا؟** ←اولویت پیشگیری
  - ✓ **اثر فرانتی (اضافه ولتاژ انتهای خط بی بار ناشی از شارژ خازنی خط)؛**
  - ✓ **کاهش ناگهانی بار (به ویژه افت بار ژنراتور و افزایش سرعت آن)؛**
  - ✓ **قطع بارهای سلفی یا اتصال بارهای خازنی بزرگ؛**
  - ✓ **اضافه ولتاژ ناشی از فرورزنانس؛**

- **سطح عایقی تحمل اضافه ولتاژ فرکانس تجهیزات بر اساس اضافه ولتاژهای موقت تعیین می شود و تجهیزات باید این اضافه ولتاژها را در مدت یک دقیقه تحمل نمایند.**
- **حداکثر ولتاژ فا ز-زمین به ولتاژ نامی فاز-زمین در اثر اتصال کوتاه تکفاز را ضریب خطای زمین (Earth Fault Factor) می نامند.**
- **ولتاژ نامی تحمل فرکانس قدرت بر حسب پیک بیان می شود (برخلاف Un و Um که بر حسب rms هستند).**
- **برقگیر نباید در برابر اضافه ولتاژهای موقتی عمل کند.**

e.g. Standard (based on current practice in most European and several other countries)

Phase-to-phase

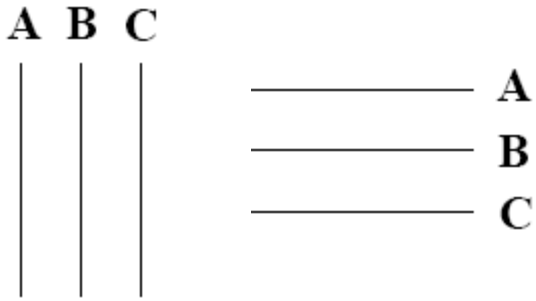
Um (rms)	Peak (phase)	Rated Lightning Impulse Withstand Voltage (peak)	Rated short duration Power Frequency Withstand Voltage
24	19.6	95 , 125	50
72.5	59	325	140
145	118	550, 650	275 , 325
245	200	850 , 950 , 1050	360 , 395 , 460

Phase-to-phase

Um (rms)	Peak (phase)	Rated Switching Impulse Withstand Voltage to earth (peak)	Rated Switching Impulse Withstand Voltage phase to phase (peak)
300	245	750 , 850	1175 , 1300
420	343	950 , 1050	1425 , 1550

Rated Lighting Impulse Withstand Voltage phase to phase (peak)	Minimum Phase-to-phase air clearances (mm)
95	160
125	220
325	630
550	1100
650	1300
750	1500
850	1700
950	1900
1050	2100

❖ سیستم اتصال فازها



- معمولا ترتیب نامگذاری فازها از شمال به جنوب و غرب به شرق است:

- به هنگام اتصال خطوط مختلف به یک باس بار باید با توجه به نحوه جابجایی احتمالی فازها در مسیر خط انتقال از اتصال فازهای همنام به یکدیگر اطمینان حاصل کرد.

- نامگذاری فازها در استانداردهای مختلف:

آلمان (به ویژه ترانسها)	U	V	W
فرانسه	R	S	T
فرانسه (به ویژه نقشه های حفاظتی)	0	4	8
انگلیس	R	Y	B
آمریکا	X	Y	Z
استاندارد IEC	A	B	C

اطلاعات محیطی

- درجه حرارت حداکثر مطلق
- درجه حرارت حداقل مطلق
- حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه
- ارتفاع از سطح دریا
- سرعت باد
- شتاب زلزله
- ضخامت یخ
- آلودگی محیط
- رطوبت هوا
- تعداد روزهای وقوع رعد و برق (سطح ایزوکرونیک)
- مطالعات زمین شناسی و نقشه برداری

❖ درجه حرارت محیط

- تعیین جریان نامی تجهیزات بر اساس حداکثر درجه حرارت محیط؛
- در طراحی ترانسفورماتور علاوه بر درجه حرارت حداکثر مطلق، حداکثر درجه حرارت متوسط روزانه نیز اهمیت دارد؛
- حداقل درجه حرارت محیط از منظر خمیری شدن روغن عایقی که باعث افزایش ویسکوزیته آن میشود و تبدیل گاز به مایع که باعث تغییر خواص فیزیکی و الکتریکی می شود، اهمیت دارد؛
- بهتر است درجه حرارتهای محیط را براساس اطلاعات آماری ۳۰ ساله تعیین کرد (در غیر اینصورت، از طریق سالنامه های آماری هواشناسی چند سال گذشته)؛

❖ ارتفاع از سطح دریا

- **با افزایش ارتفاع، چگالی هوا کم شده و در نتیجه:**
  - ✓ ولتاژ تحمل عایق خارجی تجهیزات کاسته می شود؛

ضریب تصحیح BIL عایق خارجی تجهیزات در ارتفاع بالاتر از ۱۰۰۰ متر برابر است با:

$$K = \frac{1}{1 + 1.25 * 10^{-4}(h - 1000)}$$

  - ✓ تبادل حرارتی با محیط کمتر می شود.

❖ سرعت باد

- **نیروی باد یکی از نیروهای دینامیکی وارد بر هادی ها، پایه ها و تجهیزات پست است که باید در ترکیب منطقی با سایر نیروها در نظر گرفته شود.**
- **نیروی باد وارد بر هادی ها:**

$$Q = 0.625 V^2 . C . D . R . \sin^2 \phi$$

- V: سرعت باد
- D: قطر هادی
- ϕ: زاویه بین سیم هوایی و جهت وزش باد

C و R ضرایبی به ترتیب برحسب قطر هادی و طول اسپن

C: در هادی با قطر بیش از ۱۵ میلیمتر برابر ۱ است.

R: ضریب کاهش اثر باد به دلیل اینکه تند باد همه اسپن را نمی پوشاند. که
R=1 ، اگر طول اسپن کمتر از ۱۰۰ متر باشد
R=0.6 ، اگر طول اسپن بیشتر از ۳۰۰ متر باشد

❖ شتاب زلزله

- فونداسیون، استراکچر فلزی و تجهیزات پست باید به نحوی طراحی شوند که قادر به تحمل نیروهای ناشی از زلزله با حداکثر شتاب از پیش تعیین شده باشند؛
- شدت زلزله بصورت ضریبی از شتاب جاذبه زمین در نظر گرفته می شود (Seismic Coefficient)؛
- در محاسبه نیروهای مکانیکی وارد بر هادیها، ترمینال تجهیزات، سازه های فلزی و فونداسیون تجهیزات باید ترکیب منطقی از عوامل مختلف بروز نیروها (زلزله، باد، اتصال کوتاه و یخ) در نظر گرفته شود که به آن ترکیب نیروها (Load Combination) گویند.

نمونه ای از تست seismic

❖ ضخامت یخ

- در انجام محاسبات مکانیکی تجهیزات بیرونی پست باید ضخامت یخ ایجاد شده بر روی هادی های رشته ای و لوله ای و سایر تجهیزات، به ویژه به منظور محاسبه وزن اضافی ناشی از یخ در نظر گرفته شود:

$$Q = \rho\left[\pi\left(\frac{D+2d}{2}\right)^2 - \pi\left(\frac{D}{2}\right)^2\right] * g$$

وزن مخصوص یخ (چگالی حجمی):
$0.9g/m^3$

قطر هادی

ضخامت یخ که در ایران معمولا ۲ سانتی متر در نظر گرفته می شود

- عملکرد بدون اشکال تجهیزات (به ویژه سکسیونر) در شرایط یخبندان نیز اهمیت زیادی دارد؛

❖ سطح آلودگی محیط (Pollution Level)

- **مطابق با استاندارد IEC 71-2، آلودگی هوا در ۴ دسته سبک، متوسط، سنگین و خیلی سنگین تقسیم بندی می شود.**
- **در ایران:**

سطح آلودگی	شرایط منطقه
آلودگی سبک	– نواحی بدون تاسیسات صنعتی و دارای تراکم مسکونی محدود – نواحی با تراکم صنعتی و خانگی محدود ولی دارای باد و بارانی متناوب – نواحی کشاورزی – مناطق کوهستانی – نواحی با حداقل ۲۰ کیلومتر فاصله از دریا که بادی از دریا به آنها نمی‌وزد
آلودگی متوسط	– نواحی صنعتی که دود آلوده کننده تولید نمی کنند و مناطق مسکونی با تراکم متوسط – نواحی با تراکم صنعتی و خانگی بالا ولی دارای باد و باران های متناوب – نواحی که با ساحل فاصله چندین کیلومتری دارند ولی در معرض وزش بادهای دریایی قرار دارند
آلودگی سنگین	– مناطق با تراکم صنعتی بالا و حومه شهری بزرگ با تراکم وسایل گرمایشی آلوده کننده بالا – مناطق نزدیک دریا یا مناطقی که در هر صورت در معرض بادهای نسبتاً شدید دریایی قرار دارند
آلودگی خیلی سنگین	– مناطقی که در معرض گرد و خاک های هادی و دودهای صنعتی که لایه های ضخیم هادی تولید می کنند قرار دارند – نواحی بسیار نزدیک به ساحل که در معرض پاشیدن آب دریا یا بادهای شدید آلوده دریا قرار می گیرند – نواحی بیابانی که برای مدت های طولانی بدون باران و در معرض وزش بادهای شدید همراه با ماسه و نمک بطور منظم قرار می‌گیرند
آلودگی ویژه	– نوار ساحلی جنوب کشور – مناطقی که در معرض آلودگی بسیار سنگین صنعتی و طبیعی قرار دارند مانند کارخانجات گچ و سیمان

- فاصله خزشی (Creepage distance) سطح خارجی مقره ها بر اساس سطح آلودگی از رابطه زیر محاسبه می شود:

Min. creepage distance (mm)= Um (kV) * CD (mm/kV)

Degree of contamination		Examples	Minimum creepage distance mm/kV
I	slight	Predominantly rural areas without industry and far from sea air	16
II	moderate	Areas in which little severe pollution is expected	20
III	severe	Industrial areas with relatively severe pollution, sea air, etc.	25
IV	very severe	Areas with heavy industry and much dust, fog, sea air	31

- برای مثال برای مقره 230kV، Um=245، در محیط با آلودگی متوسط، حداقل فاصله خزشی برابر با:

245×20=4900mm

نمونه ای از شستشوی تجهیزات پست

اطلاعات محیطی (ادامه)

❖ رطوبت هوا (Relative Humidity)

- رطوبت هوا در تعیین سطح آلودگی محیط (فاصله خزندگی) و فواصل عایقی اهمیت دارد؛
- درجه حفاظتی تجهیزات مختلف پست به نحوی تعیین می شود که رطوبت محیط و باران مانع عملکرد صحیح آنها نشود؛

❖ سطح ایزوکرونیک (Isokeraunic Level: Day/year)

- تعداد روزهایی که احتمال وقوع رعد و برق از حد مشخصی بیشتر باشد را سطح ایزوکرونیک گویند؛
- تعیین با آمارهای ایستگاههای هواشناسی نزدیک پست و در صورت عدم وجود اطلاعات، از منحنی های تقریبی موجود؛
- سطح ایزوکرونیک در تعیین ولتاژ تحمل صاعقه و طراحی سیستم شیلدینگ خط انتقال و پست اهمیت دارد.

❖ مطالعات زمین شناسی و نقشه برداری

- مقاومت مخصوص خاک (بر حسب اهم.متر)؛
- مقاومت مکانیکی خاک؛
- میزان خورندگی خاک؛
- تهیه نقشه توپوگرافی و تعیین عوارض زمین به منظور تعیین میزان عملیات خاکی مورد نیاز؛
- بررسی مسیل بودن پست و لزوم استفاده از زه کش و ...