نقش Power Factor در بهبود کیفیت توان

MASHHAD TADBIR

www.mashhadtadbir.com

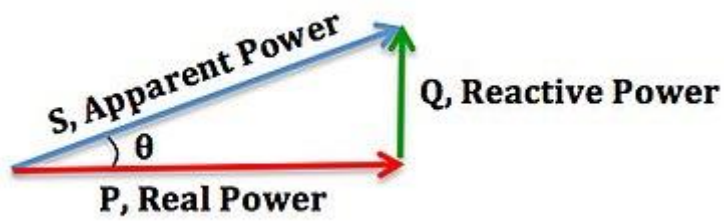
انتشار یا اشتراک این محتوا با ذکر منبع بلامانع می باشد.

پاور فکتور از مهم ترین معیارهای سنجش بهره وری سیستم های الکتریکی

در طراحی و پیاده سازی سیستم های الکتریکی، علاوه بر ایمنی و قابلیت اطمینان، باید موارد دیگری مانند بازده را نیز در نظر گرفت. یکی از معیارهای سنجش بهره وری در سیستم الکتریکی، میزان بازده مقدار انرژی است که سیستم آن را به شکلی مناسب برای انجام کار مفید تبدیل می کند. یکی از این معیارها در سیستم قدرت، ضریب توان یا Power Factor است. این پارامتر بررسی می‌کند که چه مقدار از توان برای انجام کار مفید در بار مصرف شده است. Power Factor نامناسب باعث افزایش هزینه و قطعی برق سیستم می شود. در این مطلب با ضریب توان و دلیل اهمیت آن آشنا می‌شویم.

شناخت بارهای الکتریکی؛ پیش‌نیاز درک مفهوم ضریب توان

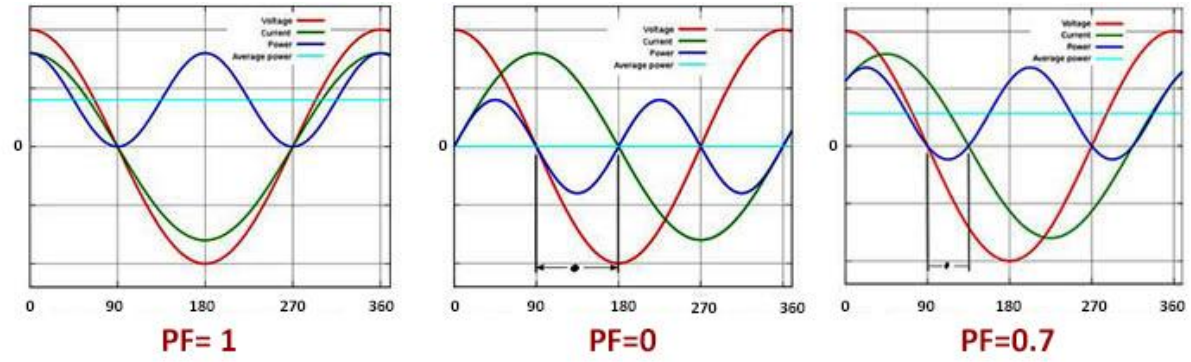
قبل از این که به سراغ بررسی مفهوم ضریب توان یا Power Factor برویم، بهتر است انواع بارهای الکتریکی را بشناسیم. به‌طور کلی بارهای الکتریکی به دو دسته بارهای مقاومتی و بارهای راکتیو تقسیم می‌شوند. بارهای مقاومتی به بارهایی گفته می‌شوند که عناصر و اجزای آن‌ها از نوع مقاومتی خالص هستند. در ایده‌آل‌ترین شرایط، تمام توان وارد شده به بارهای مقاومتی صرف کار مفید می‌شوند. به این توان، توان کاری (Working Power)، توان واقعی (True Power) و توان حقیقی (Real Power) می‌گویند. بارهای راکتیو، بارهایی هستند که با وجود ایجاد افت ولتاژ در سیستم، توان مفیدی ایجاد نمی‌کنند. بارهای راکتیو سلفی یا خازنی هستند. درواقع این نوع بارها تنها شار مغناطیسی ایجاد کرده و مستقیما کاری انجام نمی‌دهند. به این توان توان راکتیو (Reactive Power) می گویند.



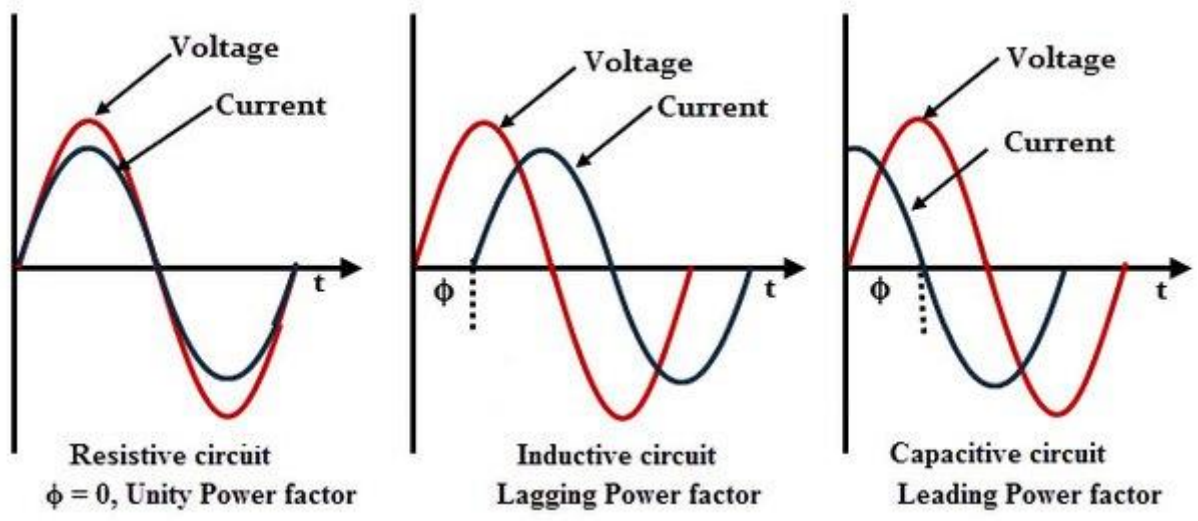
انواع مدل‌های ضریب توان کدام‌اند؟

به نسبت توان واقعی به توان ظاهری در سیستم‌های الکتریکی AC، ضریب توان یا Power Factor گفته می‌شود. در یک سیستم الکتریکی، توان کل برابر با ترکیب مولفه های توان حقیقی و توان راکتیو است که این توان را توان ظاهری می نامند. مقدار این معیار بین صفر و یک است و می‌توان با محاسبه آن، میزان بهره‌وری سیستم را مشخص کرد. هرچه میزان توان ظاهری نسبت به توان واقعی بیشتر باشد، ضریب توان کم‌تر می‌شود. در نتیجه کاهش این معیار، تلفات در مدار بیشتر می‌شود. به عبارت دیگر ضریب توان معیاری فوق‌العاده برای سنجش میزان راندمان کاری سیستم است و هرچه عدد ضریب توان بالاتر باشد، راندمان سیستم الکتریکی ما نیز بالاتر است.

مدارهایی که مصرف کننده کامل مقاومتی هستند (مانند لامپ های رشته ای، بخاری برقی و...) ضریب توان یک دارند، در حالی که در مدارهای بارهای راکتیو (مانند موتورها، ترانس ها و...) ضریب توان کمتر از یک است.



ضریب توان با توجه به جهت زاویه بین جریان و ولتاژ می تواند پیش فاز(Lead) یا پسفاز (Lag) باشد و مقدار آن برای مدارهای خازنی 0>PF>1- و برای مدارهای سلفی 1>PF>0 می باشد.



انواع بارهای الکترونیکی راکتیو و مقاومتی، در سیستم‌های الکتریکی سه نوع ضریب توان ایجاد می‌کنند. آشنایی با هر یک از این معیارها برای درک بهتر مفهوم ضریب توان اهمیت بالایی دارد. از جمله انواع مدل‌های ضریب توان می‌توان به ضریب توان حقیقی، جابه‌جایی و ظاهری اشاره کرد. در ادامه به‌صورت کامل با هر یک از انواع ضریب توان آشنا می‌شویم.

ضریب توان جابه‌جایی (Displacement PF)

ضریب توان جابه‌جایی، ضریب توان ناشی از تغییر فاز بین ولتاژ و جریان در فرکانس ~~خط~~ اصلی سیستم الکتریکی است. برای جریان‌های سینوسی (بدون اعوجاج)، ضریب توان با ضریب توان جابه‌جایی یکسان است.

DPF برای اکثر مشتریان صنعتی بسیار مهم است زیرا صورت‌حساب آب و برق برای جریمه‌های ضریب توان عموماً بر اساس آن است. اکثر طرح‌های اندازه‌گیری درآمد در حال حاضر فقط DPF را در نظر می‌گیرند.

ضریب توان اعوجاجی (Distortion Factor)

امروزه وسایل غیرخطی زیادی در تاسیسات وجود دارد. منابع تغذیه سوئیچینگ (SMPS) و درایوهای فرکانس متغیر (VFD) نمونه هایی از دستگاه های غیرخطی هستند.

دستگاه های غیرخطی منابع هارمونیک هستند و منجر به اعوجاج جریان و ولتاژ می شوند و مؤلفه دیگری از ضریب توان را ایجاد می کند که به ضریب اعوجاج (Distortion Factor) معروف است.

ضریب توان حقیقی (True PF)

در حالت سینوسی از آنجایی که فقط فرکانس اصلی وجود دارد، ضریب توان را می توان به عنوان کسینوس زاویه فاز محاسبه کرد که همان ضریب توان جابجایی است. اما در حالت غیر سینوسی، ضریب توان را نمی توان به عنوان کسینوس زاویه فاز تعریف کرد. ضریب توانی که فرکانس اصلی و هارمونیک ها را در نظر می گیرد، به عنوان ضریب توان حقیقی شناخته می شود که نسبت کل توان اکتیو برای همه فرکانس ها به توان ظاهری تحویل داده شده توسط شبکه است.

ضریب توان حقیقی یک کمیت بدون بعد با اندازه ۰ تا ۱ است که اثرات ترکیبی یک مصرف کننده را بر شکل موج سینوسی ولتاژ ورودی بیان می‌کند. همچنین باید اشاره کرد که ضریب توان حقیقی حاصل ضرب توان جابجایی و ضریب اعوجاج است.

True/Total PF = Displacement PF * Distortion PF

این مفهوم نشان می‌دهد که چه بخشی از توان ظاهری توسط بار به توان فعال تبدیل می‌شود. ضریب توان حقیقی را درواقع می‌توان مجموع توان مفید و تلفات دانست.

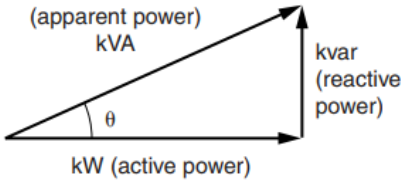
اصلی‌ترین دلیل اندازه‌گیری مقدار ضریب توان حقیقی این است که می‌توان با استفاده از آن، یک بار معیوب را شناسایی کرد و یا تغییر در نوع بار را آشکار نمود. برای مثال با اندازه‌گیری ضریب توان حقیقی می‌توان گرفتگی فیلتر پمپ را تشخیص داد. چرا که ضریب توان ظاهری به مرور زمان با مسدود شدن فیلتر تغییر می‌کند.

چرا ضریب توان اهمیت بالایی دارد؟

بعد از آشنایی با مفهوم و انواع ضریب توان، باید بگوییم که محاسبه و بررسی میزان ضریب توان اهمیت بسیار زیادی دارد. چرا که اگر مقدار ضریب توان کم باشد، به این معنی است که انرژی منبع به‌طور کامل در سیستم به کار تبدیل نمی‌شود و ما در سیستم اتلاف انرژی داریم. در نتیجه این اتلاف انرژی که ممکن است منجر به اضافه بار می شود، می‌تواند باعث افزایش هزینه و حتی قطعی برق سیستم شود. از طرف دیگر، هرچه میزان power factor کم‌تر باشد، توان راکتیو بیشتر خواهد بود. بیشتر بودن توان راکتیو نیز دلیل اصلی افزایش هزینه برق مصرف‌کنندگان است.

روش محاسبه و اصلاح ضریب توان

مفاهیم سنتی برای انتخاب تصحیح ضریب توان بر این فرض استوار است که بارهای سیستم دارای مشخصات خطی هستند و اعوجاج هارمونیک را می توان نادیده گرفت. با این فرض، ضریب توان برابر با ضریب توان جابجایی است. DPF با استفاده از روش سنتی مثلث ضریب توان محاسبه می شود و به صورت زیر نوشته می شود.



$$\mathrm{DPF} = \frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{kVA}} = \cos\theta$$

که در آن kW و kVA فقط کمیت های فرکانس اساسی هستند.

اعوجاج هارمونیک در ولتاژ و جریان ناشی از بارهای غیرخطی روی سیستم، نحوه محاسبه ضریب توان را تغییر می دهد. ضریب توان واقعی (TPF) به عنوان نسبت توان واقعی به کل ولت-آمپر در مدار تعریف می شود:

$$\mathrm{TPF} = \frac{\mathrm{kW}}{\mathrm{kVA}} = \frac{P}{V_{\mathrm{rms}}\, I_{\mathrm{rms}}}$$

اگرچه باز هم ضریب توان به عنوان نسبت kW به kVA تعریف می شود، اما در اینجا، kVA شامل ولت-آمپرهای اعوجاج هارمونیک هم می شود. کل kVA (توان ظاهری) با ضرب ولتاژ rms واقعی در جریان rms واقعی تعیین می شود. توان اکتیو عموماً با اعوجاج تنها مقداری افزایش می یابد.

برای اصلاح ضریب توان، خازن ها فقط توان راکتیو فرکانس اصلی را جبران می کنند و نمی توانند ضریب توان واقعی را در صورت وجود هارمونیک به طور کامل تصحیح کنند. حتی ممکن است با ایجاد شرایط تشدید، اعوجاج هارمونیک را بزرگ و TPF را بدتر کند. در سیستم های قدرت معمولی، Irms در معادله TPF، عموماً بیشتر تحت تأثیر اعوجاج هارمونیک قرار می گیرد، اگرچه Vrms نیز ممکن است افزایش یابد اما با فرض صفر بودن THD V، حداکثر مقداری که می تواند TPF را تصحیح کنید، می تواند به صورت تقریبی باشد.

$$\mathrm{TPF} \approx \sqrt{\frac{1}{1 + \mathrm{THD}_{\mathrm{current}}^2}}$$

بررسی‌های علمی نشان می‌دهند که با اصلاح ضریب توان می‌توان هزینه برق مصرف‌کنندگان را تا ۴۰ درصد کاهش دهد. برای اصلاح power factor، در ابتدا باید به سراغ محاسبه آن برویم. ابزارهای نظارت بر کیفیت توان (مانند پاورآنالایزرها) معمولاً هم جابجایی، هم اعوجاج و هم توان واقعی را محاسبه می کنند. بعد از محاسبه power factor، باید مقدار آن را بین اعداد ۰,۸ الی ۱ قرار داد تا بهره‌وری سیستم افزایش پیدا کند.