

Apostila para Eletrônica

ELETROTÉCNICA BÁSICA

2ª Edição

ÍNDICE

1 – ENERGIA ELÉTRICA	3
1.1 – GERAÇÃO	3
1.2 - TRANSMISSÃO.....	4
1.3 - DISTRIBUIÇÃO	5
2 - CORRENTES TRIFÁSICAS	6
3 - TENSÕES NO CIRCUITO TRIFÁSICO	6
4 - TENSÃO, CORRENTE E POTÊNCIA	7
5 - CIRCUITOS TRIFÁSICOS	9
6 - CORRIGINDO O FATOR DE POTÊNCIA.....	10
7 - CONDUTORES	11
7.1 - DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES.....	12
8 - LÂMPADAS	13
9 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	14
10 - INSTALAÇÃO RESIDENCIAL	15
11 – PROTEÇÃO ELÉTRICA	15
11.1 – CURTO-CIRCUITO	15
11.2 – SOBRECARGA	15
12 – COMPONENTES DE PROTEÇÃO	15
12.1 - FUSÍVEIS.....	16
12.2 - DISJUNTORES	16
12.3 – INTERRUPTOR DE FUGA	17
12.4 – RELE TÉRMICO	18
13 – CIRCUITOS CLÁSSICOS	18
13.1 – PARTIDA DIRETA.....	18
13.2 – PARTIDA COM REVERSÃO	19
13.3 – PARTIDA Y/ Δ (estrela-triângulo).....	20
13.4 – CHAVE COMPENSADORA	22

1 – ENERGIA ELÉTRICA

Podemos definir energia elétrica como a energia resultante do movimento de cargas elétricas em um condutor. É companheira inseparável da era moderna. Não é difícil imaginar como nossa vida seria diferente sem ela.

Mas o que a faz tão importante a ponto de se tornar praticamente indispensável à vida atual? São muitos os motivos. Seguem alguns essenciais:

- a) É facilmente transportável. Pode ser produzida no local mais conveniente e transmitida para consumidores distantes por uma simples rede de condutores (fios).
- b) É facilmente transformável em outras formas de energia. Exemplo: calor, luz, movimento.
- c) É elemento fundamental para a ocorrência de muitos fenômenos físicos e químicos que formam a base de operação de máquinas, equipamentos, etc. dos tempos atuais. Exemplo: eletromagnetismo, efeito termiônico, efeito semicondutor, fotovoltaico, oxidação e redução, etc.

Entretanto, como qualquer forma de energia, ela deve obedecer ao primeiro princípio da termodinâmica. Assim, quando dizemos geração de energia elétrica, devemos entender como uma transformação de uma outra forma de energia, em energia elétrica.

A energia elétrica, para chegar ao consumidor final, passa por três etapas: geração, transmissão e distribuição.

1.1 – GERAÇÃO

Existem várias formas de se gerar energia elétrica. Mas as opções diminuem quando se trata de quantidades para consumo de uma sociedade. A seguir as mais comuns:

Térmica: a energia que se transforma é o calor resultante da queima de algum combustível (derivado de petróleo como óleo combustível, gás natural, carvão, madeira, resíduos como bagaços, etc.). Em nível mundial representa provavelmente a maior parcela. As instalações usam basicamente caldeiras que geram vapor que aciona turbinas que acionam geradores. Ou então máquinas térmicas como motores diesel ou turbinas a gás. No aspecto ecológico apresenta problemas. A queima de combustíveis joga na atmosfera poluentes variados como o enxofre além do dióxido de carbono, responsável pelo já preocupante efeito estufa (aquecimento global). Se madeira ou carvão vegetal são usados, a consequência é o desmatamento.

Nuclear: pode ser entendida como uma térmica que usa caldeira, sendo a fonte de calor um reator nuclear em vez da queima de combustível. Por algum tempo foi considerada a solução do futuro para a geração de energia elétrica. Mas os vários acidentes ocorridos ao longo do tempo revelaram um enorme potencial de risco. Os resíduos (lixo atômico) são outro grave problema. Em vários países, não é mais permitida a construção de novas usinas nucleares.

Hídrica: a energia potencial de uma queda d'água é usada para acionar turbinas que, por sua vez, acionam geradores elétricos. Em geral as quedas d'água são artificialmente construídas (barragens), formando extensos reservatórios, necessários para garantir o suprimento em períodos de pouca chuva. Não é um método totalmente inofensivo para o ambiente. Afinal, os reservatórios ocupam áreas enormes, mas é um problema consideravelmente menor que os anteriores. Evidente que a disponibilidade é totalmente dependente dos recursos hídricos de cada região. No Brasil representa a maior parcela da energia gerada.

Outros meios, considerados ecologicamente limpos, vêm sendo usados cada vez mais, embora a participação global seja ainda pequena: solar e eólico.

Solar: em geral, a energia da radiação solar é convertida diretamente em elétrica com o uso de células fotovoltaicas. Há necessidade de acumuladores (baterias) para suprir picos de demanda e fornecer energia durante a noite. Usado principalmente para pequenas unidades residenciais em zonas rurais.

Eólico: o arraste dos ventos aciona pás acopladas a geradores. É claro que a viabilidade depende das características climáticas da região. Em alguns países sua participação vem aumentando, devido à possibilidade de se obter quantidades razoáveis de energia com quase nenhum prejuízo ecológico. Entretanto, é sempre um sistema complementar a um outro, uma vez que a irregularidade dos ventos não permite um fornecimento constante.

1.2 - TRANSMISSÃO

Muitas vezes, a geração de energia elétrica ocorre em locais distantes dos centros consumidores. No caso predominante no Brasil (geração hídrica) a natureza impõe os locais onde sejam viáveis as construções das barragens. É comum usinas geradoras distantes centenas ou milhares de quilômetros dos grandes centros. Assim, são necessários meios eficientes de levar essa energia.

A Figura 1 dá o esquema simplificado de uma transmissão. Após o gerador, transformadores da subestação elevadora aumentam a tensão para um valor alto. Dependendo da cada região, pode variar de 69 a 750 KV. Uma vez que as linhas transmissoras aproximam-se dos centros de consumo, transformadores de uma subestação redutora diminuem a tensão para um valor de distribuição, objeto do próximo tópico.

Mas por que a tensão de transmissão precisa ser tão alta? Podemos fazer uma analogia com uma tubulação de água. Seja uma tubulação pela qual passa uma determinada vazão de água: se aumentamos a pressão no início, a vazão também aumentará sem necessidade de um tubo de maior diâmetro.

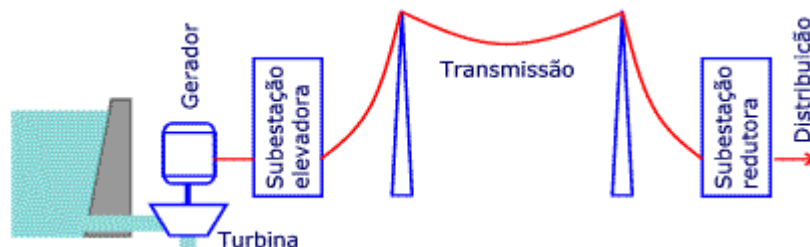


Fig. 1

No caso da energia elétrica, se transmitida com baixas tensões na potência necessária para atender milhares de consumidores, a bitola dos condutores precisariam ser tão grande que tornaria o sistema economicamente inviável.

É claro que, na prática, os sistemas de transmissão não são tão simples assim. Usinas normalmente dispõem de vários conjuntos turbina-gerador que trabalham em paralelo. As transmissões de diferentes usinas e diferentes centros consumidores são interligados de forma a garantir o suprimento em caso de panes e outros problemas.

1.3 - DISTRIBUIÇÃO

Uma rede de distribuição deve fazer a energia chegar até os consumidores de forma mais eficiente possível.

Conforme tópico anterior, quanto mais alta a tensão menor a bitola dos condutores para transmitir a mesma potência. Assim, redes de distribuição em geral operam com, no mínimo, duas tensões. As mais altas para os consumidores de maior porte e as mais baixas para os pequenos.

A Figura 2 mostra o esquema simplificado de uma distribuição típica. A subestação redutora diminui a tensão da linha de transmissão para 13,8kV, chamada distribuição primária, que é o padrão geralmente usado nos centros urbanos no Brasil. São aqueles 3 fios que se vê normalmente no topo dos postes de energia e ainda é classificada como “alta tensão”. Essa tensão primária é fornecida aos consumidores de maior porte como indústrias, por sua vez, dispõem de suas próprias subestações para rebaixar a tensão ao nível de alimentação dos seus equipamentos.

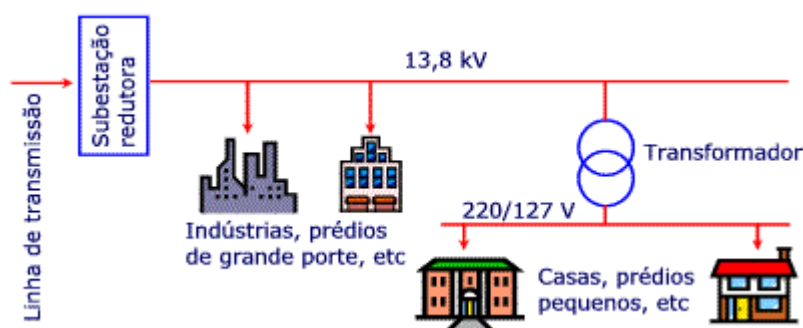


Fig. 2

A tensão primária também alimenta aqueles transformadores localizados nos postes que reduzem a tensão ao nível de ligação de aparelhos elétricos comuns de 127/220V (fase, neutro, fase), para consumidores de pequeno porte como residências. É a chamada distribuição secundária.

A rede é formada pelos quatro fios (separados e sem isolamento ou juntos e com isolamento) que se observam na parte intermediária dos postes.

É evidente que uma distribuição simples assim é típica de uma cidade de pequeno porte. Cidades maiores podem ser supridas com várias linhas de transmissão, dispondo de várias subestações redutoras e estas podem conter múltiplos transformadores, formando assim várias redes de distribuição. Também pode haver várias tensões de distribuição primária.

Indústrias de grande porte, consumidoras intensivas de energia elétrica, em geral são supridas com tensões bastante altas, às vezes a da própria transmissão, para evitar altos custos da rede, então “coletam” a energia diretamente da linha de alta tensão. Nesse caso, dentro da própria planta industrial, existe um transformador abaixador que fica dentro de uma cabine primária, cuja entrada é de 13,8KV, e a saída de acordo com a necessidade (440V, 380V, 220V).

Indústrias de pequeno porte são abastecidas em baixa tensão, onde a origem é o transformador externo (poste da rede pública).

2 - CORRENTES TRIFÁSICAS

A geração e distribuição de energia elétrica para consumo público é sempre feita em corrente alternada senoidal. Isto significa que a tensão e a corrente variam ao longo do tempo em forma de uma função senoidal e a variação por unidade de tempo, isto é, a frequência, é constante. No Brasil foi adotada a frequência padrão de 60 Hz (corresponde a 60 ciclos por segundo). Alguns países usam o padrão de 50 Hz.

São bastante fortes as razões para o uso da corrente alternada e não da contínua. Geradores e motores de corrente alternada são muito mais simples e eficientes. Correntes contínuas não podem ter suas tensões facilmente convertidas (aumentadas ou reduzidas). Na realidade, é preciso transformá-las em alternadas, converter com transformadores e transformar novamente em contínuas. Também podem ser usados conjuntos motores-geradores. Para as alternadas, basta o transformador.

Entretanto, a corrente contínua apresenta uma vantagem: as perdas na transmissão são menores. Para distâncias e potências muito altas pode ser economicamente viável a transformação em contínua na geração e o processo inverso no destino. Mas o assunto foge do nosso objetivo.

Além disso, por razões de eficiência, a geração é sempre feita em forma trifásica. Significa que os condutores não serão dois mas sim três, cujas tensões ou correntes estão igualmente deslocadas entre si em relação ao tempo.

Desde que um período completo equivale a 360° , o deslocamento ou diferença de fases entre cada será de $360/3 = 120^\circ$. A Figura 3 dá uma representação gráfica da defasagem. É comum designar os condutores pelas letras R, S, T (ou L1, L2, L3). E são genericamente chamados fases.

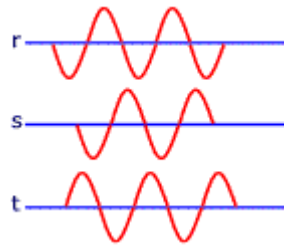


Fig. 3

De acordo com as normas técnicas da CPFL, o fornecimento de energia elétrica para um sistema monofásico deverá possuir uma carga instalada de até 12KW. Para um sistema bifásico deverá possuir uma carga instalada entre 12KW e 25KW. Para um sistema trifásico deverá possuir uma carga instalada entre 25KW e 75KW.

3 - TENSÕES NO CIRCUITO TRIFÁSICO

A tensão entre duas fases quaisquer de uma linha trifásica é a mesma, sendo esta a sua referência de tensão (às vezes chamada tensão de linha ou tensão entre fases).

Transformadores (e outros elementos trifásicos como motores) podem ter seus enrolamentos ligados em dois arranjos distintos: triângulo e estrela.

A Figura 4 mostra o esquema típico de uma ligação de um transformador para a distribuição secundária.

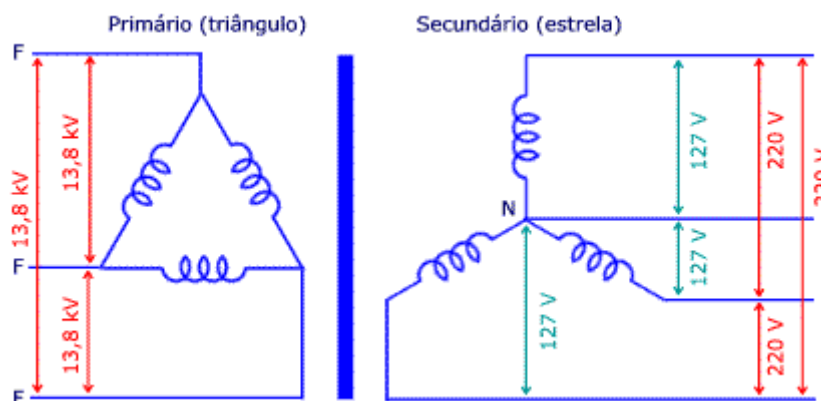


Fig. 4

O primário tem seus enrolamentos ligados em triângulo e, assim, cada um recebe a tensão de 13,8KV (poderia ser também em estrela, mas foi colocado desta forma para visualizar as diferenças). Já o secundário tem os enrolamentos ligados em estrela e o nó central é chamado de neutro, o que adiciona um quarto condutor ao circuito (são os 4 fios que se vê na parte intermediária dos postes).

O condutor neutro é geralmente ligado a um aterramento, ficando portanto com um potencial nulo em relação à terra. Nesta configuração, a tensão entre fases é igual a $\sqrt{3}$ vezes a tensão entre fase e neutro (às vezes chamada simplesmente tensão de fase). Pode-se conferir que 220 é aproximadamente igual a 127 vezes $\sqrt{3}$.

Este arranjo dá uma flexibilidade na ligação aos consumidores. Para a maioria dos consumidores de pequeno porte basta os 127V de uma fase e o neutro, o que é chamado de ligação monofásica.

Se o consumidor tem um número de cargas maior, pode ser interessante fornecer duas fases e o neutro (ligação bifásica), para um melhor equilíbrio de cargas na rede.

Notar que o consumidor bifásico tem, além dos 127V entre fases e neutro, a tensão de 220V entre fases. Assim, ele pode optar por usar esta tensão para aparelhos de maior potência (chuveiro, por exemplo), a fim de reduzir o custo da instalação (bitola menor do condutor).

A ligação trifásica deve ser usada se o número de cargas é ainda maior e/ou se existem equipamentos trifásicos como motores. Lembrar que motores trifásicos são mais simples e eficientes e apresentam menos problemas que os monofásicos.

Para consumidores de grande porte, indústrias e outros, ligados à distribuição primária e que têm, portanto, suas próprias subestações, existem padrões mais elevados de tensão para menores custos das instalações. Valores usuais são 220/380V ou 254/440V ou maiores.

4 - TENSÃO, CORRENTE E POTÊNCIA

Em um circuito de corrente contínua, a potência demandada por uma carga é o simples produto da tensão pela corrente que circula pela mesma ($P=V.I$). Para corrente alternada também, mas com algumas diferenças.

Seja o circuito simples da Figura 5: um gerador de corrente alternada que fornece uma tensão (V) para uma carga genérica (c) e por esta circula uma corrente (I).

Se a carga (c) for puramente resistiva, o produto da tensão pela corrente será realmente a potência absorvida pela mesma. Mas se for uma carga indutiva (motor, reator de lâmpada fluorescente, etc.), haverá uma defasagem ϕ entre a tensão e a corrente no circuito conforme indicado. Também ocorrerá defasagem se a carga for capacitiva.

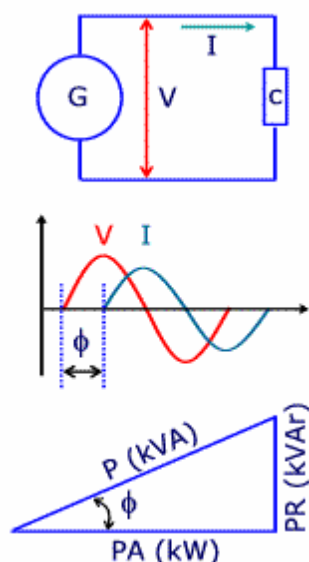


Fig. 5

A potência total (produto da tensão pela corrente) será a soma ortogonal de dois componentes. E temos as seguintes definições e igualdades:

Potência aparente ou total: $P = V \cdot I$.

Potência ativa: $PA = P \cdot \cos \phi = V \cdot I \cdot \cos \phi$.

Potência reativa: $PR = P \cdot \sin \phi = V \cdot I \cdot \sin \phi$.

Como $P \geq PA$, isto representa um importante dado em circuitos de corrente alternada, uma vez que a potência resultante de trabalho útil na carga é somente a potência ativa, mas o gerador fornece potência aparente. Isto significa que a potência reativa é indesejável. Ela não produz trabalho útil, mas é demandada do gerador e contribui para carregar a fiação entre este e a carga.

O parâmetro $\cos \phi$ é chamado fator de potência da instalação. Portanto, uma instalação ideal deve ter $\cos \phi = 1$. Como isto só ocorre com cargas puramente resistivas (ex.: lâmpadas incandescentes, resistências de aquecimento), para as demais é sempre menor que 1.

A unidade de potência do Sistema Internacional é o watt (W). Em instalações elétricas é mais comum o uso do múltiplo quilowatt (KW). Entretanto, para designar a potência aparente, é comum usar o quilo volt-ampère (KVA). Fisicamente as unidades se equivalem, isto é, $1 \text{ KVA} = 1 \text{ KW}$. É apenas para distinguir uma de outra. Analogamente, para potência reativa, é usado KVAR, que também equivale ao KW.

No Figura 5 está considerado um gerador como fonte da energia elétrica, mas poderia perfeitamente ser um transformador alimentado a partir de uma rede elétrica. Assim, para transformadores e geradores, a especificação de potência é sempre dada em KVA (potência aparente) para ficar independente do fator de potência da carga. Exemplo: um gerador ou transformador com capacidade de 100 KVA poderá fornecer 100 KW de potência útil se o fator de potência da carga for 1. Se for 0,8, por exemplo, a potência útil que poderá fornecer será $100 \times 0,8 = 80 \text{ KW}$.

Para os circuitos trifásicos a energia reativa ocorre de forma similar conforme a seguir, mas é importante não confundir a defasagem entre tensões ou entre correntes das três fases com a defasagem entre tensão e corrente devido à presença de carga indutiva. São coisas completamente distintas.

5 - CIRCUITOS TRIFÁSICOS

A Figura 6 mostra as configurações triângulo e estrela de cargas genéricas (c) em um circuito trifásico.

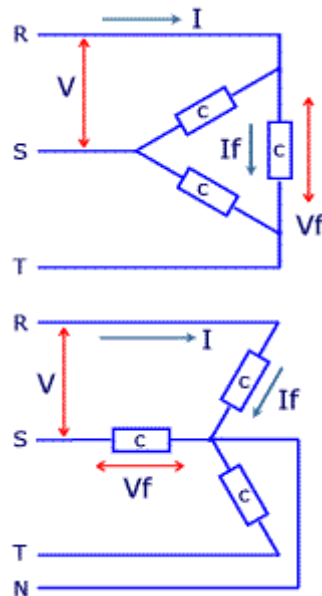


Fig. 6

Lembramos as definições:

Tensão de linha V: tensão entre duas fases da linha.

Corrente de linha I: corrente que circula por cada fase.

Tensão de fase Vf: tensão sobre a carga.

Corrente de fase If: corrente que circula pela carga.

Na configuração triângulo, a tensão de linha é igual à de fase.

Assim: $V = V_f$ e, para a corrente, $I = \sqrt{3} \cdot I_f$.

Na configuração estrela, a corrente de linha é igual à de fase.

Assim: $I = I_f$ e, para a tensão, $V = \sqrt{3} \cdot V_f$.

Para a potência, vale em ambos os casos:

Potência aparente: $P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$.

Potência ativa: $P_A = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varnothing$.

Potência reativa: $P_R = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \sin \varnothing$.

Obs.: todas estas igualdades supõem um sistema equilibrado, isto é, as tensões entre fases são idênticas e as cargas (c) também.

Agora um exemplo prático: suponhamos que $V = 220V$ e que as cargas (c) sejam os enrolamentos de um motor trifásico com tensão nominal de 220V. Assim, na configuração triângulo, o motor estará operando em condições normais, pois a tensão em cada enrolamento será 220V. A corrente I_f dependerá da potência do motor. Entretanto, se ligado em estrela, a tensão em cada enrolamento será $V_f = 220/\sqrt{3}$. Isto significa que o motor irá operar com uma potência menor.

Logo que são ligados, isto é, na partida, os motores demandam um pico elevado de corrente da rede, pois ainda não atingiram a rotação nominal. Se a partida é dada na configuração estrela, o pico será menor devido à menor tensão em cada enrolamento. Esta

técnica é bastante utilizada para reduzir os picos de partida onde é chamada de partida em estrela-triângulo. Isto é feito por um conjunto de chaves magnéticas que ligam o motor na configuração estrela e certo tempo depois comutam para o triângulo. Essa comutação pode ser manual ou automática com temporizadores.

6 - CORRIGINDO O FATOR DE POTÊNCIA

Conforme já visto, qualquer fator de potência menor que 1 significa desperdício. A energia reativa é suprida pela fonte fornecedora, mas não se transforma em trabalho útil para o consumidor. É dissipada na rede. Assim, as empresas geradoras e distribuidoras de energia elétrica agem para manter o fator de potência no mais alto valor possível.

Provavelmente devido a razões de custo-benefício, não há controle sobre os pequenos consumidores. Para consumidores de maior porte é fixado um fator de potência mínimo, abaixo do qual o consumidor é penalizado com multa.

O método comum para correção do fator de potência é dado na Figura 7 A. Supomos que (c) é uma carga indutiva.

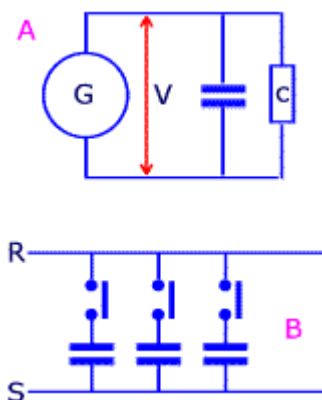


Fig. 7

Em um indutor a corrente fica atrasada em relação à tensão. E, em um capacitor, ocorre o contrário. Assim, um capacitor em paralelo com a carga e adequadamente dimensionado, poderá fazer com que a corrente fique perfeitamente em fase com a tensão e, portanto, fator de potência unitário.

Na prática, um consumidor não tem apenas uma carga. Numa indústria, por exemplo, normalmente são muitas e podem ser ligadas ou desligadas ao longo do dia e a potência demandada das mesmas varia dependendo do equipamento.

Desde que não é possível construir capacitores variáveis nos valores de capacitância exigidos, normalmente é usada uma sequência de capacitores comutados por chaves magnéticas conforme Figura 7 B. Um circuito eletrônico monitora o fator de potência e liga ou desliga cada capacitor para mantê-lo o mais próximo possível da unidade.

Evidente que num sistema trifásico os capacitores devem ser instalados em cada par de fases. Formam assim uma série de elementos e muitas vezes o conjunto é chamado banco de capacitores.

Normalmente o banco de capacitores é instalado na entrada de energia do consumidor (quadro ou subestação própria se é ligado à distribuição primária). Ver Figura 8.

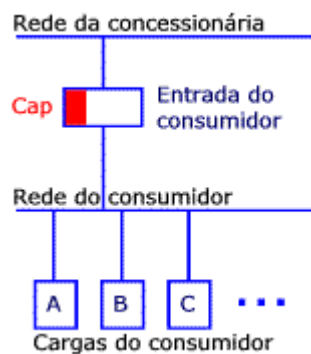


Fig. 8

Se em subestação própria, deve ser ligado ao secundário do transformador. A instalação no primário pode atender os requisitos da concessionária, mas o transformador do consumidor continuará fornecendo energia reativa para sua rede interna.

Se o consumidor tem uma carga significativamente alta em relação às demais, pode ser interessante um banco de capacitores específico junto à mesma. A eficiência da rede melhora.

7 - CONDUTORES

Em geral, dá-se o nome de cabo ao conjunto de condutor, camada isolante e capa de proteção conforme Figura 9.

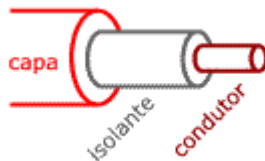


Fig. 9

É evidente que a única parte essencial é o condutor. As demais podem existir ou não. Exemplos: existem cabos completamente sem isolamento (cabos nus), usados em linhas aéreas, aterramento, para-raio e em outros casos. Nos cabos usados em instalações residenciais, tomadas, ligações internas de aparelhos e outros, isolante e capa são normalmente uma única camada. Cabos para alta tensão geralmente têm uma camada a mais, metálica, entre o isolante e a capa (blindagem).

O condutor pode ser um único fio (fio rígido) ou ser formado por um agrupamento de fios mais finos, o que dá uma flexibilidade ao cabo (cabo flexível). É mais comum a designação fio rígido ou fio flexível.

A maioria das instalações residenciais e comerciais usa fios rígidos por uma questão de custo. Melhor se fossem flexíveis. Estes têm menos tendência de se soltarem dos terminais e bornes de ligação.

O material do condutor é quase sempre o cobre. É o metal que apresenta melhor compromisso entre condutividade elétrica e custo. Em alguns casos, como linhas de transmissão, é usado o alumínio.

A capacidade de condução de corrente de um cabo depende basicamente da bitola do condutor. Entretanto, isso não deve ser o único critério de dimensionamento.

Exemplo: uma carga é alimentada por um cabo de comprimento 10 m. Se for deslocada e o cabo agora tem 100 m, poderá ser necessária uma bitola maior para manter a queda de tensão dentro do tolerável.

A padronização dos cabos segundo a capacidade é dada pela área da seção transversal do condutor em milímetros quadrados (mm²). A tabela abaixo dá os valores usuais de capacidade de condução em corrente para as seções padronizadas.

Seção (mm ²)	2 condutores carregados (A)	3 condutores carregados (A)	Seção (mm ²)	2 condutores carregados (A)	3 condutores carregados (A)
0,5	9	8	50	151	134
1	13,5	12	70	192	171
1,5	17,5	15,5	95	232	207
2,5	24	21	120	269	239
4	32	28	150	309	272
6	41	36	185	353	310
10	57	50	240	415	364
16	76	68	300	473	419
25	101	89	400	566	502
35	125	111	500	651	578

Tais valores se referem a cabos isolados com PVC, a 70 °C, temperatura ambiente de 30 °C, instalados em calhas ou dutos. Ver catálogos dos fabricantes para mais detalhes.

Padronização de cores de cabos para instalações;

Na maioria das instalações residenciais e comerciais, não há qualquer critério para diferenciar os condutores. Uma distinção por meio de cores é altamente vantajosa, tanto para os serviços de instalação quanto eventuais reparos e substituições. Abaixo temos o padrão normalmente adotado.

Fase R - preto
 Fase S - branco
 Fase T - vermelho
 Neutro - azul claro
 Terra - verde

7.1 - DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES

Abordaremos um tipo de carga indutiva, mais precisamente motores. A razão disso é óbvia, pois os motores (além de ser equipamentos de maior número em uma instalação industrial) são o tipo de carga mais crítica. Sabendo como trabalhar com eles, todas as demais (lâmpadas, resistivas, etc.) podem ser analisados sem tantos pontos críticos.

Outro aspecto importante a ser analisado antes do dimensionamento é a normalização. Todas as fórmulas, tabelas e dispositivos tem como base a norma NBR 5410. Essa norma estabelece todos os padrões a serem seguidos em instalações elétricas de baixa tensão.

O dimensionamento de condutores deve contemplar a capacidade corrente em função da máxima queda de tensão permitida. Já a corrente considerada é a nominal do motor.

Para dimensionarmos o condutor necessitamos apenas saber a sua demanda total de corrente. Uma vez determinada, basta consultarmos a tabela relativa.

As duas fórmulas básicas para calcular-se a demanda de corrente são:

Para redes monofásicas.

$$I = P / V \cdot \cos\phi \cdot \eta$$

Para redes trifásicas.

$$I = P / V \cdot \cos\phi \cdot \eta \cdot \sqrt{3}$$

Onde:

P = potência do motor convertido em watts

V = tensão da rede

$\cos\phi$ = fator de potência do motor

η = rendimento do motor

A potência do motor em CV equivale a 736W e a potência em HP equivale a 746W.

Com exceção da tensão da rede de alimentação, todos os demais dados são constantes e devem ser fornecidos pelo fabricante. Normalmente eles estão disponíveis em “plaquetas” fixadas no próprio motor.

Alguns motores possuem o que chamamos de FS (fator de serviço) maior do que 1. O fator de serviço é um parâmetro que trata da capacidade de suportar sobrecargas contínuas. Essa característica melhora o desempenho do motor em condições desfavoráveis, porém, caso ele seja maior do que 1, deve ser considerada nos cálculos de corrente.

$$I_t \geq FS \cdot I$$

Onde:

I_t = corrente total

FS = fator de serviço

I = corrente de cálculo determinado pelas fórmulas anteriores

Quando temos um fator de potência igual a 1 (FS = 1) significa que o motor foi projetado para funcionar continuamente acima de sua potência nominal.

A seguir temos uma tabela para o limite de temperatura para os isolantes dos cabos.

ISOLAÇÃO	TEMP. MÁXIMA CONTÍNUA (°C)	TEMP. LIMITE SOBRECARGA (°C)	TEMP. LIMITE CURTO-CIRCUITO (°C)
PVC	70	100	160
EPR	90	130	250
XLPE	90	130	250

A queda de tensão na partida do motor não deve ultrapassar 7% da tensão nominal. Além disso a NBR 5410 impõe (independente de cálculo) que a seção mínima para os cabos de alimentação seja igual a 2,5mm² (condutores de cobre).

8 - LÂMPADAS



As lâmpadas incandescentes, , são bastante conhecidas e aqui não cabem mais detalhes. São de baixo custo e fáceis de instalar. O problema é a baixa eficiência. Apenas aproximadamente 5% da energia consumida é transformada em luz. O restante é perdido em forma de calor.

Como alternativas mais eficientes, existem as lâmpadas de descarga a gás, sendo a fluorescente a mais usada em ambientes comerciais e residenciais. Em ambientes indústrias e

para iluminação de grandes áreas são usados também os tipos vapor de mercúrio e vapor de sódio.

A Figura 10 mostra o funcionamento de uma lâmpada fluorescente comum, tubular. A estrutura é um bulbo tubular de vidro, com um filamento em cada extremidade, contendo uma pequena quantidade de mercúrio e um gás nobre (argônio, criptônio ou neônio) em baixa pressão. Há também um revestimento opaco interno. Sob ação do potencial elétrico aplicado nos filamentos, os elétrons se movem de um lado a outro em alta velocidade. A colisão com os átomos do mercúrio emite radiação ultravioleta. Um revestimento interno com material apropriado, por exemplo, halofosfato de cálcio, converte esta radiação em luz visível. A eficiência de uma lâmpada fluorescente está na faixa de 23%.

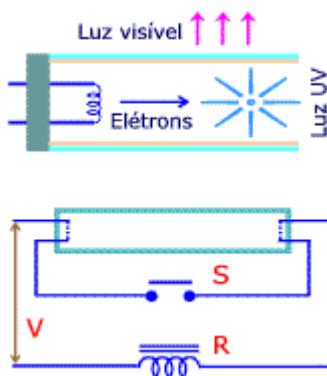


Fig. 10

Entretanto, a lâmpada fluorescente exige dispositivos adicionais para operar.

Na parte inferior da Figura 10, o esquema de ligação mais simples, com partida manual.

O reator R (bobina com núcleo de ferro) é necessário para limitar a corrente e fornecer a tensão adequada.

Para acender é necessário pressionar por um breve período o botão S (interruptor), de forma a aquecer os filamentos e formar o arco entre as extremidades. Uma vez acesa o filamento pode e deve ser desligado, pois a descarga se mantém enquanto houver tensão aplicada. Evidente que este método é pouco prático. Existem dispositivos chamados starters que fazem esta operação automaticamente.

Há também reatores que dispensam starters, chamados de partida rápida. E também os reatores eletrônicos.

Desde a última década, são bastante usadas as lâmpadas fluorescentes compactas, em formato de U ou circular. Contendo o reator na própria base e soquete padrão, tornam a instalação tão simples quanto a das incandescentes.

9 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

Em uma residência tem que ser colocado um quadro de distribuição, também conhecido como quadro de disjuntores.

A local de onde irá ficar o quadro de disjuntores, deverá ser sempre que possível, no centro imaginário das cargas, porém não muito visível, mas em local de fácil acesso, para facilitar uma manutenção e/ou emergência.

Para efetuar as divisões dos disjuntores, o profissional poderá efetuar da melhor forma que achar necessário, porém é usual dividir em dois circuitos para a iluminação e mais dois

circuitos para as tomadas. Deverá colocar um circuito para cada chuveiro e um circuito para cada ar condicionado.

É comum fazer uma tabela do quadro de disjuntores, para poder identificar cada circuito bem como todas suas características. Não existe uma norma específica que menciona quais características deve constar na tabela, mas no mínimo deve ter: número do circuito, tensão, potência, corrente, seção do condutor, disjuntor, localização e o balanceamento das fases, que é a forma para representar aproximadamente as cargas para cada fase.

10 - INSTALAÇÃO RESIDENCIAL

Os tipos de ligação para instalação de iluminação são: simples, paralelo e intermediário, onde são utilizados interruptores simples, paralelos e intermediários, como veremos nos diagramas elétricos.

Para instalação elétrica residencial é necessário a execução de um projeto elétrico, onde não é representado os diagramas elétricos, mas a planta baixa da residência com as devidas distribuição de tomadas, lâmpadas e interruptores, e também o desenho da tabela do quadro de disjuntores.

Para a instalação elétrica residencial de iluminação, podemos efetuar três tipos de ligação dos interruptores: simples, paralelo e intermediário.

11 – PROTEÇÃO ELÉTRICA

A NBR5410 prescreve que todo circuito deve ser protegido por dispositivos que interrompam a corrente elétrica em caso de curto-circuito ou sobrecarga.

11.1 – CURTO-CIRCUITO

O curto-circuito é o contato direto acidental entre os condutores de uma rede. Pode ser entre fases ou entre fase e neutro. Pode ocorrer devido a algum problema na própria rede ou no interior de alguma máquina ou equipamento. A corrente atinge valores elevados, limitada apenas pela resistência ôhmica dos condutores ou capacidade da fonte geradora. Sem uma proteção adequada, danos graves ocorrerão e o risco de incêndio é grande.

11.2 – SOBRECARGA

A sobrecarga difere do curto-circuito pelas amplitudes das grandezas no fenômeno. A sobrecarga resulta na sobrecorrente, que não tende ao infinito, porém assume valores acima da nominal da carga. A tensão de alimentação, na sobrecarga, não cai a zero como no curto-circuito.

Ela pode até sofrer uma queda devido a sobrecorrente, mas raramente diminui mais de 10% da tensão nominal. A sobrecarga pode ser momentânea ou permanente.

12 – COMPONENTES DE PROTEÇÃO

12.1 - FUSÍVEIS

O fusível é um dispositivo de proteção simples e econômico e, por isso, amplamente utilizado. Nada mais é que um pequeno trecho condutor de um material de baixo ponto de fusão. O aquecimento provocado por uma corrente elevada funde o elemento, abrindo o circuito.

Os pequenos fusíveis usados em circuitos eletrônicos são geralmente simbolizados por . Em instalações elétricas é comum o símbolo .

A principal característica de um fusível é a sua corrente nominal, isto é, o valor máximo de corrente que o mesmo suporta em regime contínuo sem abrir. Correntes maiores que a nominal irão provocar a ruptura do fusível após algum tempo e esta relação, tempo x corrente de ruptura é a curva característica do fusível. A Figura 11 dá um exemplo típico, onde I_n é a corrente nominal.

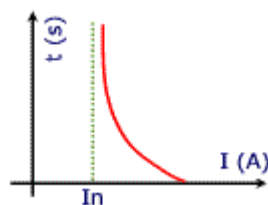


Fig. 11

Os fusíveis também têm uma tensão máxima de operação que deve ser obedecida.

Diferentes tipos de fusíveis, ainda que considerando as mesmas correntes nominais, podem ter curvas diferentes.

Alguns tipos, as vezes chamados de retardados, apresentam um tempo relativamente longo para abrir. Outros, chamados rápidos, abrem em um tempo bem menor, na mesma corrente. Esta diversidade é necessária, uma vez que cargas comuns como motores têm um pico de corrente na partida que deve ser suportado e, portanto, o tipo retardado deve ser usado. Equipamentos sensíveis como os eletrônicos precisam de uma ação rápida para uma correta proteção. É importante evitar confusões. Um fusível rápido colocado no lugar de um retardado provavelmente irá abrir ao se ligar a carga. E um retardado no lugar de um rápido poderá não proteger os componentes em caso de um curto interno no equipamento.

Fusíveis são uma boa proteção contra curtos-circuitos. Não são muito adequados contra sobrecargas. Para tais casos devem ser usados disjuntores.

12.2 - DISJUNTORES

Disjuntores são dispositivos eletromecânicos de proteção que funcionam sob ação magnética e/ou térmica, interrompendo o circuito em caso de curto-circuito e/ou sobrecarga. A ação magnética funciona na ocorrência de curtos-circuitos e um disjuntor somente magnético seria simbolizado por . Um disjuntor somente térmico tem o símbolo  e protege contra sobrecargas. Em geral, os disjuntores combinam ambas as formas de proteção.

São chamados de termomagnéticos, com o símbolo . É claro que tais símbolos se referem a disjuntores monofásicos. Para os tipos bi e trifásicos, eles são agrupados um ao lado do outro.

Existe uma ampla variedade de tipos e capacidades, que aqui não cabe detalhar. Entretanto, vale lembrar que, em instalações residenciais comuns, eles são muitas vezes os únicos meios de proteção usados, substituindo fusíveis e chaves.

A Figura 12 mostra o esquema simplificado de um disjuntor termomagnético.

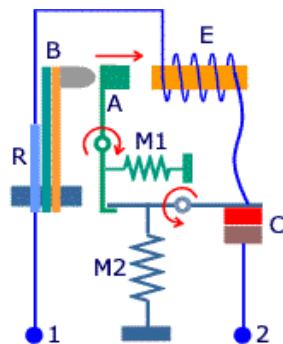


Fig. 12

Entre os bornes 1 e 2, a corrente passa pela resistência de baixo valor R (que está próxima da lâmina bimetálica B), pela bobina do eletroímã E e pelo par de contatos C. Este tende a abrir pela ação da mola M2 mas o braço atuador A impede com ajuda da mola M1.

O eletroímã E é dimensionado para atrair a extremidade do atuador A somente em caso de corrente muito alta (curto circuito) e, nesta situação, A irá girar no sentido indicado, liberando a abertura do par de contatos C pela ação de M2. De forma similar, R e o bimetálico B são dimensionados para que este último não toque a extremidade de A dentro da corrente nominal do disjuntor. Acima desta, o aquecimento do bimetálico o levará a tocar o atuador A, interrompendo o circuito de forma idêntica à do eletroímã.

12.3 – INTERRUPTOR DE FUGA

Também chamado interruptor diferencial, é na realidade um disjuntor. Mas não se destina à proteção contra curtos ou sobrecargas e sim contra falhas na isolação de aparelhos.

Na Figura 13 o princípio de funcionamento: um equipamento é ligado à rede monofásica e o conjunto interruptor é formado pelas partes dentro do retângulo tracejado. A alimentação da rede passa pelo núcleo da bobina L que alimenta o atuador A que, por sua vez, comanda o grupo de contatos C.

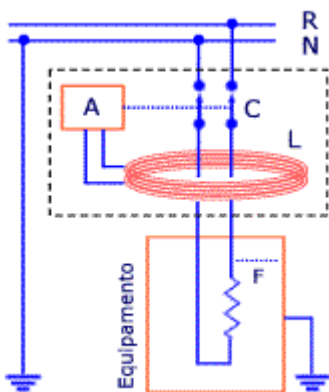


Fig. 13

Em situação normal, a corrente no condutor fase é igual à do neutro mas em sentidos opostos. Assim, os campos magnéticos se anulam e não há tensão induzida na bobina L. Entretanto, se houver uma fuga F de corrente entre o circuito do equipamento e sua carcaça que está aterrada, a corrente na fase será maior que a do neutro. Isso induz uma tensão na

bobina L e o atuador A faz a abertura dos contatos. Opera de forma similar com circuitos trifásicos.

Notar que pode funcionar também como uma proteção contra choques. Se a carcaça do equipamento não estiver aterrada e houver uma fuga e for tocada por uma pessoa, o desequilíbrio de corrente ocorrerá e poderá fazer o interruptor atuar.

A principal característica, além da máxima tensão e corrente que pode suportar, é a sensibilidade, isto é, a menor corrente de fuga que provoca a abertura (o conceito está no sentido inverso, ou seja, quanto menor a corrente, maior a sensibilidade).

Interruptores de baixa sensibilidade, como por exemplo 500 mA, são usados para proteção somente contra fugas e as carcaças dos equipamentos devem estar corretamente aterradas. Já os de alta sensibilidade como 30 mA são usados onde o aterramento não existe ou é deficiente. Entretanto, tais dispositivos não podem ser considerados substitutos do aterramento. O aterramento deve ser sempre usado.

12.4 – RELE TÉRMICO

A proteção contra sobrecarga utilizada em motores é o relé térmico.

O princípio de funcionamento deste dispositivo está baseado na ação da dilatação térmica diferencial de uma haste bimetálica, que é composta de dois metais distintos.

Como os dois metais são diferentes, o coeficiente de dilatação também é. Quando há uma sobrecorrente, a haste aquece, porém, devido aos diferentes coeficientes de dilatação, um metal dilata mais do que o outro. A haste, então, sofre uma “curvatura” abrindo os contatos e interrompendo o circuito.

O relé possui um ajuste para sua atuação. Portanto, “dimensionar” o relé térmico na realidade, significa determinar seu tipo e seu ponto ideal de ajuste em função da carga.

13 – CIRCUITOS CLÁSSICOS

Para analisarmos um circuito industrial, o técnico deve ter em mente que um circuito tem duas partes separadas (circuito de comando e circuito de força).

O circuito de comando mostra a “lógica” com que o circuito de força deve operar.

O circuito de força por sua vez, e como o próprio nome diz, estabelece ou não a energia para a carga. Um circuito de força é composto de três fusíveis (um para cada fase), contator tripolar (liga ou desliga o motor), relé térmico e motor de indução trifásico.

Vamos ver a seguir, os mais comuns tipos de partidas de motores na indústria: partida direta, partida automática com reversão, partida automática Y/Δ (estrela-triângulo) e chave compensadora.

13.1 – PARTIDA DIRETA

Em uma partida direta de um motor, o único componente de manobra é o contator K1.

No diagrama de comando desse motor, temos o contato do relé térmico (proteção) em série com o botão desliga (NF) para desligá-lo, e o botão liga (NA) para ligá-lo e finalmente a bobina do contator. Em paralelo com o botão “liga” temos um contato do contator K1, o qual é chamado de auxiliar ou de selo. O contato de selo serve para manter o contator fechado na ausência da atuação do botão liga, após o sistema ter sido acionado.

Ligação: Quando apertarmos o botão liga (BL), o contator (K1) é acionado (entra) fechando o contato de selo. Como ele está em paralelo com botão liga (BL), mesmo após tirar o “dedo”, o sistema continuará ligado.

Interrupção: Para desligar, basta pressionarmos o botão desliga (BD) que, por ser normalmente fechada (uma vez acionada) interromperá o processo.

Sinalização: A lâmpada (SL) acenderá quando o contator (K1) for energizado fazendo com que seu contato (43 e 44) feche, indicando que o motor está ligado.

A lâmpada (SD) inicialmente estará acesa indicando que o motor está desligado e quando o contator (K1) for energizado fazendo com que seu contato (21 e 22) abra, a lâmpada apagará.

A lâmpada (SA) de alarme ascenderá quando o relé (F1) atuar com sobrecarga fazendo com que seu contato (97 e 98) feche, indicando defeito.

A figura 14 ilustra o diagrama de força e de comando desse sistema.

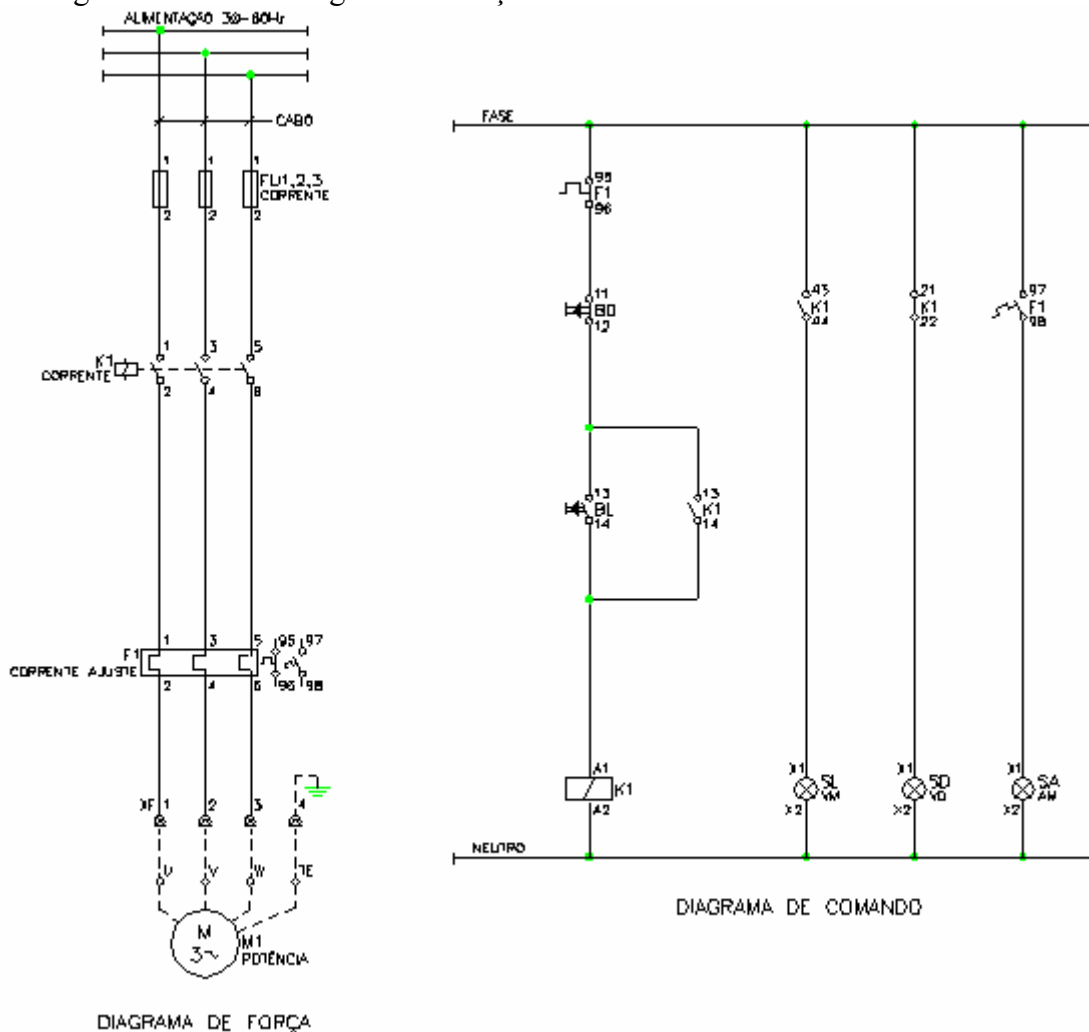


Fig. 14

13.2 – PARTIDA COM REVERSÃO

A partida de reversão é a inversão do sentido de rotação de motores trifásicos.

Para inverter o sentido de “giro” de um motor AC trifásico, basta inverter as fases R e T da sua alimentação.

Com dois contadores (K1 e K2) intertravados, podemos inverter as fases R e T nos bornes do motor.

Ligação: Quando apertarmos o botão liga (BL1), o contator (K1) é acionado (entra) fechando o contato de selo. Com isso o motor entra em funcionamento girando para um dos sentidos, por exemplo, direita.

Comutação: Quando apertarmos o botão liga (BL2), o contator (K1) é desenergizado e o contator (K2) é acionado (entra) fechando o contato de selo. Com isso o motor é freado passando a girar no sentido contrário, esquerda.

Sinalização: A lâmpada (SL1) acenderá quando o contator (K1) for energizado, indicando que o motor está ligado girando para a direita.

A lâmpada (SL2) acenderá quando o contator (K2) for energizado, indicando que o motor está ligado girando para a esquerda.

A lâmpada (SD) inicialmente estará acesa indicando que o motor está desligado e quando o contator (K1) ou o contator (K2) for energizado, a lâmpada apagará.

A lâmpada (SA) de alarme ascenderá quando o relé (F1) atuar com sobrecarga, indicando defeito.

A figura 15 ilustra o diagrama de força e de comando desse sistema.

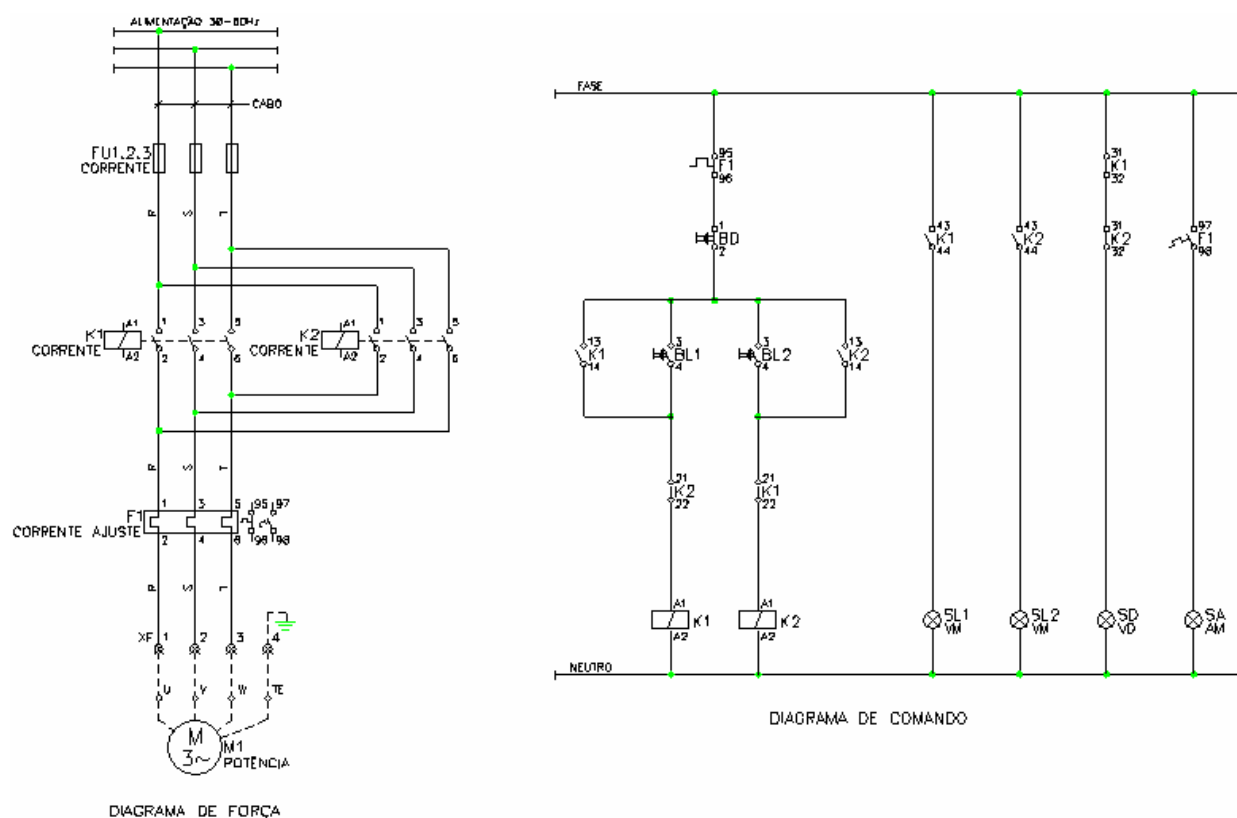


Fig. 15

13.3 – PARTIDA Y/ Δ (estrela-triângulo)

Uma das necessidades da indústria é proporcionar a partida suave para motores de grande porte (acima de 10CV). Uma das técnicas utilizadas é a partida Y/ Δ .

Isso é conseguido mudando o fechamento das bobinas internas de um motor Y para Δ . Para isso vamos utilizar dois recursos: intertravamento de motores e relé de tempo.

O intertravamento de contadores é uma técnica onde a “entrada” de um contador significa, necessariamente, a saída do outro. Se o contador (K1) entrar sem que (K2) saia, haverá um curto-circuito entre as fases de alimentação. O intertravamento é realizado através de um contato auxiliar (selo) de cada contador, de modo a interromper cada respectivo comando segundo a lógica de operação.

O relé de tempo, na essência, é um contador temporizado. Uma vez energizado, segundo seu ajuste, permite que determinada manobra ocorra com o tempo desejado. Esse tempo, no caso de partida de motores, dependerá de cada motor. Na prática, ele pode variar de 100ms (motores pequenos) até vários segundos.

Quando o contador (K1) e (K2) entrarem, teremos a ligação estrela (Y). Nesse instante (K3) deve estar desenergizado. Após o tempo ajustado, (K2) deve sair e, então, (K3) é energizado, estabelecendo a ligação triângulo (Δ).

A ligação estrela é feita através do curto-circuito dos terminais U2-V2-W2, e a ligação triângulo através das conexões entre U1-W2, V1-U2, E W1-V2.

Ligação: Quando apertarmos o botão liga (BL), é energizado o contador (K2) e o relé de tempo (RT1). Um contato de (K2) aciona o contador (K1), fazendo com que o motor entra em funcionamento em estrela.

Comutação: Decorrido um tempo para o qual foi ajustado o relé de tempo (RT1), este opera, desligando o contador (K2), onde ocorrerá a abertura de seus contatos fechados e fechamento dos contatos abertos do contador (K2). Nesse instante o contato (K2) em série com a bobina de (K3) é fechado energizando (K3), fazendo com que o motor entra em funcionamento em triângulo.

Interrupção: Para desligar, basta pressionarmos o botão desliga (BD) que, por ser normalmente fechada (uma vez acionada) interromperá o processo.

Sinalização: A lâmpada (SL1) acenderá quando o contador (K1) for energizado, indicando que o motor está ligado.

A lâmpada (SD) inicialmente estará acesa indicando que o motor está desligado e quando o contador (K1) for energizado, a lâmpada apagará.

A lâmpada (SA) de alarme ascenderá quando o relé (F1) atuar com sobrecarga, indicando defeito.

A figura 16 ilustra o diagrama de força e de comando desse sistema.

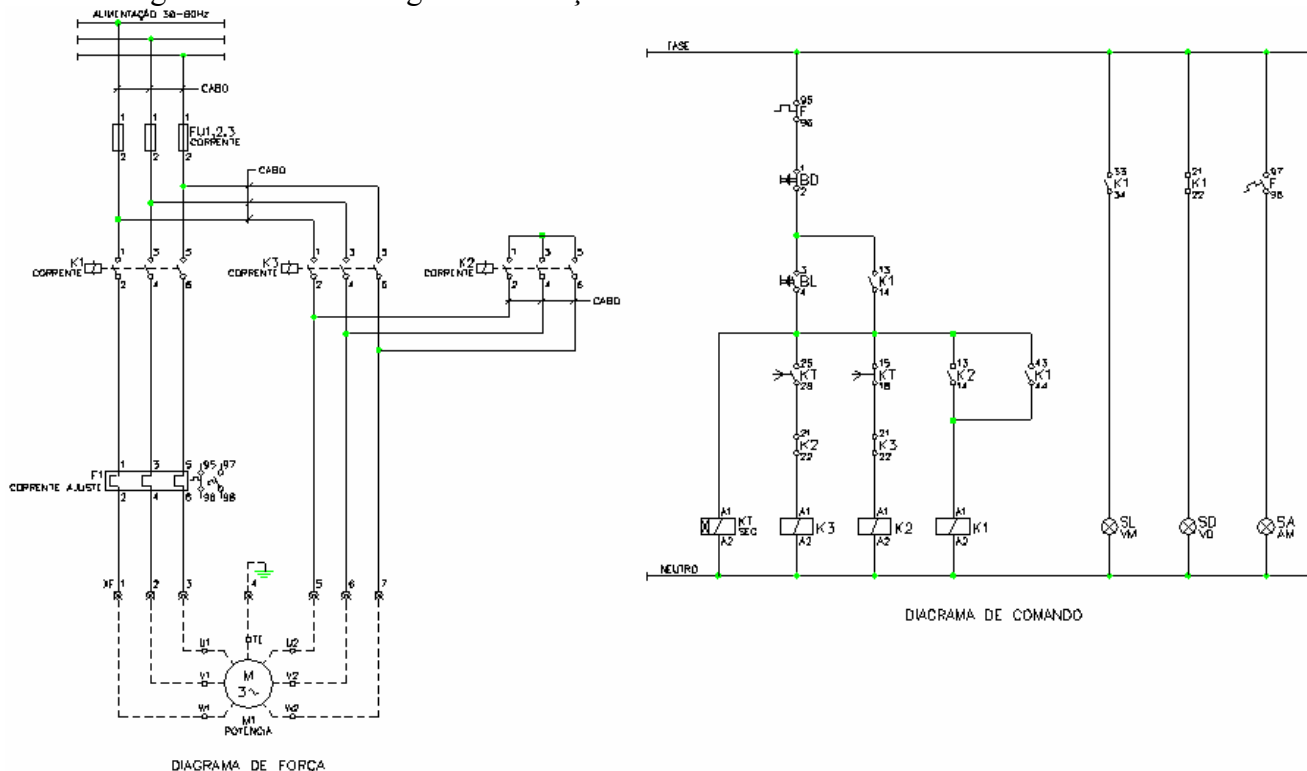


Fig. 16

13.4 – CHAVE COMPENSADORA

Outro modo de proporcionar a redução do pico de corrente gerado pela partida de motores, é a partida através da chave compensadora. O componente principal desse circuito é um autotransformador que, através de um “tap” (derivação), dispõe uma tensão reduzida de 65% da nominal.

Através de três contatores ligamos o motor (instante da partida), nesse tap. Como a tensão está reduzida, sua partida torna-se mais suave. Uma vez vencida a inércia, o motor é ligado diretamente a rede elétrica, funcionamento de 100% da tensão.

Na partida, os contatores (K2 e K3) estão energizados e (K1) desenergizado. Assim temos (K3) fazendo o fechamento de autotransformador, e (K2) conectando-o a rede. Após algum tempo, (K2 e K3) são desenergizados, desligando o autotransformador, e (K1) entra. Nesse momento, 100% da tensão passa a alimentar o motor.

Ligação: Quando apertarmos o botão liga (BL), é energizado o contator (K2) e o relé de tempo (RT1). Um contato de (K2) aciona o contator (K1), fazendo com que o motor entra em funcionamento em estrela.

Comutação: Decorrido um tempo para o qual foi ajustado o relé de tempo (RT1), este opera, desligando o contator (K2), onde ocorrerá a abertura de seus contatos fechados e fechamento dos contatos abertos do contator (K2). Nesse instante o contato (K2) em série com a bobina de (K3) é fechado energizando (K3), fazendo com que o motor entra em funcionamento em triângulo.

Interrupção: Para desligar, basta pressionarmos o botão desliga (BD) que, por ser normalmente fechada (uma vez acionada) interromperá o processo.

Sinalização: A lâmpada (SL1) acenderá quando o contator (K1) for energizado, indicando que o motor está ligado.

A lâmpada (SD) inicialmente estará acesa indicando que o motor está desligado e quando o contator (K1) for energizado, a lâmpada apagará.

A lâmpada (SA) de alarme ascenderá quando o relé (F1) atuar com sobrecarga, indicando defeito.

A figura 17 ilustra o diagrama de força e de comando desse sistema.

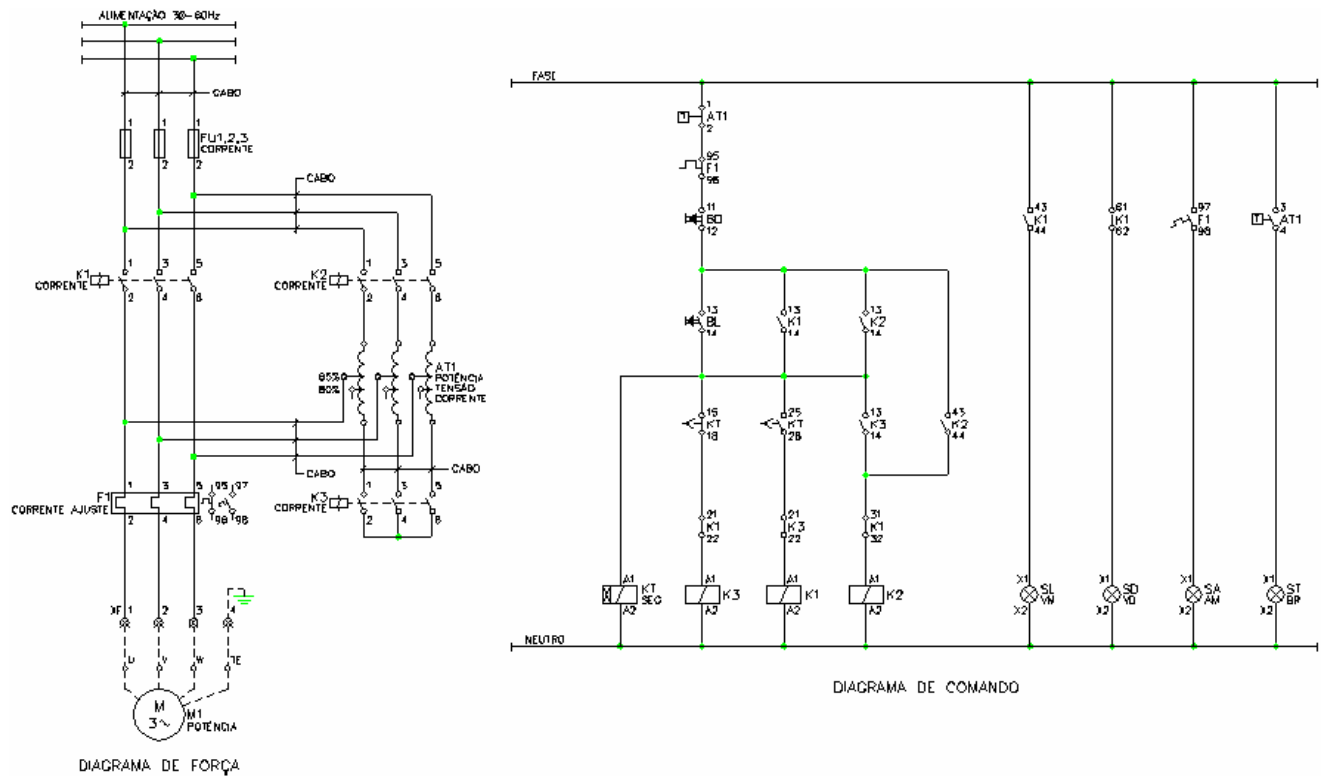


Fig. 17

OBS.: Podemos encontrar no mercado, sistemas que substituam as técnicas de comandos elétricos, seus princípios de funcionamento originam-se na eletrotécnica, Podemos citar alguns dos equipamentos para partidas de motores como, o soft-starter, inversores de frequência e o PLC.