

SEQUÊNCIA DE FASE EM UM SISTEMA TRIFÁSICO

RELATÓRIO 1 - ELT 229

Barcelos O.C., Alves W.F.O., Batista H.O.B.

18 de novembro de 2020

Laboratório de Polifásicos, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa (UFV)

E-mail: celso.barcelos@ufv.br, werikson.alves@ufv.br, hiago.batista@ufv.br.

Resumo - Este relatório tem como objetivo principal determinar qual é a sequência de fase de um circuito desequilibrado trifásico através da aplicação do Método do Voltímetro ou da Lâmpada, assim buscaremos ser capazes de afirmar se o circuito em análise está operando sob regime de fase direta (abc) ou inversa (acb) de acordo com os resultados obtidos por meio de experimentos práticos e simulados.

Palavras-chaves - Sistemas Trifásicos, Sequência de fases, Método do Voltímetro, Método das Lâmpadas.

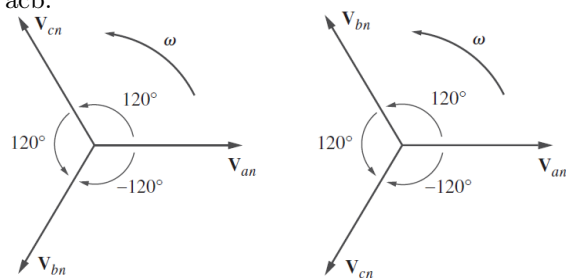
1 Introdução

Em Sistemas Trifásicos, as tensões trifásicas são produzidas através de um gerador CA. A caráter construtivo, esse gerador possui um ímã rotativo também conhecido por rotor em que é envolto por um enrolamento fixo denominado estator. Três bobinas são dispostas fisicamente em 120° em torno do estator. De acordo com que o rotor gira, seu campo magnético induz uma tensão nas três bobinas. Devido a defasagem entre as bobinas, as tensões induzidas são iguais em magnitude, mas também defasadas de 120° . Porém, se analisarmos individualmente, cada bobina se comporta como um gerador monofásico, assim a grande vantagem desse sistema é que o gerador trifásico pode alimentar tanto cargas trifásicas como também cargas monofásicas.

Por conta de tais características, há duas pos-

síveis maneiras de ligação das bobinas do gerador trifásico. Uma delas consiste em tomarmos V_{an} na referência, a mesma pode estar adiantada de V_{bn} que também está adiantada em relação a V_{cn} , esta configuração recebe o nome de Sequência de Fase Direta ou Sequência (ABC). Entretanto, se rearranjarmos as conexões do gerador trifásico, ainda tomando V_{an} como referência, podemos realizar uma permutação entre as demais fases a fim de que V_{cn} esteja adiantada em relação à V_{bn} , esta formatação é conhecida por Sequência de Fase Inversa ou Sequência (ACB). Logo abaixo a Figura 1 ilustra as duas sequências mencionadas.

Figura 1: Ilustração das seqüências de fase abc e acb.



a) Fase abc.

Fonte: Extraída de [1]

b) Fase acb.

Como um exemplo de importante de aplicação, quando se deseja controlar o sentido do giro de rotação de um motor elétrico trifásico, devemos nos atentar se a fonte de alimentação fornece energia na seqüência ABC ou ACB. Assim, tal contexto é definido em Sistemas Trifásicos como Seqüência de Fases. Onde segundo [1];

"Seqüência de fases é a ordem cronológica na qual as tensões de fase passam através de seus valores máximos."

Em suma, o foco deste trabalho será realizar uma análise acerca do tema seqüência de fases, a fim de determinarmos qual a seqüência que está sendo empregada em um circuito trifásico sem conhecer suas grandezas à priori. Dessa forma, este documento encontra-se dividido em seções, adiante será explicado como foi realizado os cálculos e respectivos experimentos práticos, ora simulados de forma controlada no Laboratório de Máquinas Elétricas do curso de Engenharia Elétrica da UFV, ora simulado via *software* computacional. Na seção seguinte, é apresentado os resultados obtidos e uma leve discussão acerca dos mesmos, e por fim, encerraremos com uma conclusão geral sobre todos os pontos mais relevantes a serem destacados.

2 Metodologia de ensaio

Nesta etapa do trabalho, por questões de organização, optamos por dividir esta seção em duas

etapas. Na primeira discutiremos como foram calculados os valores das grandezas elétricas de interesse, neste caso, tensões e correntes. Mais adiante, abordaremos como e de que forma foram realizados os experimentos práticos e simulados.

2.1 Análise Matemática

Começaremos apresentando nossa análise aplicando o Método do Voltímetro, bem como suas definições e características, logo em seguida faremos a mesma análise, agora considerando a aplicação do Método das Lâmpadas.

2.1.1 Método do Voltímetro

De acordo com [2], método do voltímetro se baseia na seguinte teoria:

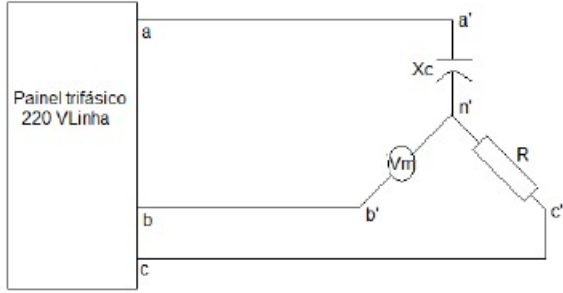
"Assumindo que seqüência de fases seja seqüência direta (ABC), para um X_c maior ou igual a R em valores ôhmicos, o voltímetro indicará leitura superior à tensão de linha, caso contrário, se a seqüência de fases for negativa (ACB), o voltímetro indicará leitura inferior".

Para a análise desta teoria, foram utilizados os seguintes componentes:

- Um Capacitor de 25 F;
- Um resistor de 100 Ω ;
- Um voltímetro (medido em rms);
- Um painel trifásico com tensões de linha de 220V.

Esses componentes estão dispostos de acordo com a Figura 2, em que V_m representa o voltímetro, X_c a reatância capacitiva e R a resistência de 100 Ω :

Figura 2: Conexão elétrica empregando Método do voltímetro.



Fonte: Extraída de [2].

Primeiramente, é necessário encontrarmos o potencial no ponto de referência em comum das cargas do circuito (n'), para isto, vamos inicialmente encontrar os valores das admitâncias (Y) de todas as fases usando a Equação 1. Em seguida usamos a Equação 2 para calcular qual a queda de tensão no neutro.

$$Y_k = Z_k^{-1}; \quad k = A, B \text{ e } C \quad (1)$$

$$V_{nn'} = \frac{-Y_A V_{an} - Y_B V_{bn} - Y_C V_{cn} - Y_N V_{Nn}}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_N} \quad (2)$$

Para encontrarmos os valores das correntes de linha, utilizamos as Equações 3, 4 e 5 a seguir:

$$I_a = \frac{V_{an} - V_{Nn}}{Z_A} \quad (3)$$

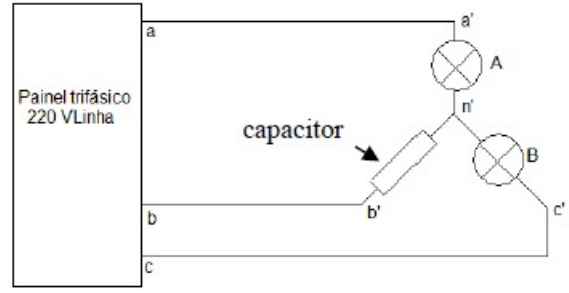
$$I_b = \frac{V_{bn} - V_{Nn}}{Z_b} \quad (4)$$

$$I_c = \frac{V_{cn} - V_{Nn}}{Z_C} \quad (5)$$

2.1.2 Método das Lâmpadas

Nesta seção, o circuito que abordamos está representado na Figura 3, onde os elementos A e B representam uma lâmpada cada, além disso, este método é baseado na seguinte teoria, afirma [2]; “Ao ligar o painel trifásico, se a lâmpada da fase C for mais brilhante que a lâmpada da fase A, a sequência será positiva, caso contrário, a sequência será negativa”.

Figura 3: Conexão elétrica empregando Método das Lâmpadas.



Fonte: Extraída de [2].

Similarmente ao Método do Voltímetro, este método emprega as Equações 1, 2, 3, 4 e 5 para encontrarmos os valores de suas grandezas elétricas. Os resultados obtidos foram anotados e serão apresentados na seção de Resultados.

2.2 Análise Experimental

No Laboratório de Máquinas do Departamento de Engenharia Elétrica da UFV, foi realizado inicialmente a montagem dos circuitos da Figuras 2 e 3, após os mesmos estarem alimentados, foi efetuado as devidas medições de interesse. Os valores obtidos serão apresentados mais adiante.

3 Resultados

Após a coleta dos resultados coletados no laboratório, nas simulações e nos cálculos empregados, montamos a Tabela 1, na qual as letras M, S e C significam medidos, simulados e calculados, respectivamente.

Tabela 1: Valores medidos, simulados e calculados.

Método		Voltímetro		Lâmpadas	
Sequência		abc	acb	abc	acb
Vab	M	222.00	220.00	222.00	222.00
	S	220.00	220.00	220.00	220.00
	C	220.00	220.00	220.00	220.00
Vbc	M	222.00	220.00	222.00	219.00
	S	220.00	220.00	220.00	220.00
	C	220.00	220.00	220.00	220.00
Vca	M	222.00	219.00	222.00	220.00
	S	220.00	220.00	220.00	220.00
	C	220.00	220.00	220.00	220.00
Va'n'	M	158.00	157.00	131.00	241.00
	S	160.10	160.10	134.90	238.10
	C	160.08	160.08	134.88	238.05
Vb'n'	M	301.00	79.00	112.00	111.00
	S	300.40	80.97	104.70	104.70
	C	300.36	80.97	104.67	104.67
Vc'n'	M	154.00	150.00	243.00	128.00
	S	150.90	150.90	238.10	134.90
	C	150.87	150.87	238.05	134.87
Vnn'	M	174.00	45.00	115.00	113.00
	S	173.40	46.75	111.70	111.70
	C	173.40	46.75	111.67	111.69
Ia	M	1.43	1.47	0.49	0.73
	S	1.51	1.51	0.42	0.74
	C	1.51	1.51	0.42	0.74
Ib	M	0.00	0.00	1.06	1.05
	S	0.00	0.00	0.99	0.99
	C	0.00	0.00	0.99	0.99
Ic	M	1.40	1.43	0.73	0.52
	S	1.51	1.51	0.74	0.42
	C	1.51	1.51	0.74	0.42

A Tabela 2 apresenta as potências sob as lâmpadas com objetivo de apontar qual lâmpada deveria estar com brilho mais intenso, já que a análise visual nesta situação não se fazia possível nas simulações. Observe que assim como era esperado pela afirmação teórica, olhando para a coluna central da tabela, como a potência da lâmpada conectada à fase A é menor que a potência da lâmpada da fase C, podemos afirmar que o circuito em questão estava sob regime de sequência

de fase direta. E o inverso também se aplica, ou seja, quando a potência da fase da fase A é maior, a sequência é inversa, como visto na coluna mais à direita.

Tabela 2: Potências dissipadas pelas lâmpadas.

Potência Ativa [W]			
Seq.		ABC	ACB
$P_{a'n'}$	M	64,19	175.93
	S	56.67	176.19
	C	56.65	176.16
$P_{c'n'}$	M	177.39	66.56
	S	176.19	56.66
	C	176.16	56.65

Assumindo os resultados do experimento realizado no laboratório como valores de referência, já que o mesmo foi realizado sob efeitos das condições semelhantes do modelo prático, e observe que os valores calculados são muito semelhantes aos resultados obtidos por meio das simulações, já que ambos podem ser tomados como valores ideais, por conta disso, iremos analisar a discrepância entre os resultados simulados e medidos para fazer uma comparação entre os erros percentuais entre a teoria e prática. Para tanto vamos usar a Equação 6 que está descrita a seguir para construir a Tabela 3.

$$E = \left| \frac{E_{med} - E_{real}}{E_{real}} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Tabela 3: Valores dos erros percentuais.

Seq.	Erro percentual %			
	Voltímetro		Lâmpada	
	abc	acb	abc	acb
Vab	0.91	0.00	0.90	0.91
Vbc	0.91	0.00	0.90	0.45
Vca	0.91	0.45	0.90	0.00
Va'n'	1.31	1.94	2.98	1.22
Vb'n'	0.20	2.43	6.52	6.02
Vc'n'	2.05	0.60	2.02	5.11
Vnn'	0.35	3.74	2.87	1.16
Ia	5.30	2.65	14.29	1.35
Ib	0.00	0.00	6.60	6.06
Ic	7.28	5.30	1.37	23.81

Note que os maiores erros se deram para a corrente Ic, onde registramos um erro de 23,81%, e o segundo maior erro obtido foi para a corrente Ia de 14,29%. Uma das explicações para tamanha variação é devido ao fato de que essas grandezas foram da ordem de *miliampéres*, e nos apoiamos sob a hipótese que o aparelho de medição (alicate amperímetro) não é o mais indicado nessas situações de valores tão irrisórios, talvez o mais adequado teria sido o uso de um osciloscópio para obtenção de valores mais precisos nessa faixa de escala de 1×10^{-3} . Já os demais valores estão numa faixa onde podemos assumir que nossos resultados foram satisfatórios.

4 Conclusão

De acordo com os resultados e observações levantadas ao longo deste relatório, podemos afirmar que fomos capazes de identificar se o circuito trifásico operava com sequência de fase direta ou inversa. Também identificamos uma coerência entre os valores das técnicas empregadas, que fo-

ram análise matemática, simulação via *software* e a mais fiel através do experimento prático realizado em laboratório. Entretanto, existem equipamentos de medição como o Fasímetro ou Sequencímetro que são capazes de determinar qual a sequência de fase do circuito, porém na falta dos mesmos, vale se da aplicação dos métodos aqui estudados como uma segunda opção.

Entre as técnicas usadas, vale pontuar que o teste em laboratório é a que melhor representa o Circuito Trifásico dentro das condições mais reais, pois tal técnica também apresenta perdas por conexões elétricas, dissipação de potência pelos componentes elétricos e eletrônicos empregados, possível imprecisão das leituras ocasionadas pelos aparelhos de medição, imprecisão na sincronia das fases do painel elétrico utilizado como fonte de alimentação como fora observado, entre outros fatores. Já as simulações efetuadas via *software Simulink*[®] buscam representar o experimento desprezando quaisquer interferências e portanto obtêm valores ideais assim como na teoria. Os Erros percentuais apresentados anteriormente justificam nossas afirmações.

Referências

- [1] Charles K Alexander and Matthew NO Sadiqu. *Fundamentos de circuitos elétricos*. AMGH Editora, 2013.
- [2] PRATES M. O. Pratica 1 - simulação sequências de fases em um sistema trifasico. *Relatório de Elt 229*, 2020.
- [3] Carlos César Barioni OLIVEIRA, Hernán Pietro SCHMIDT, Nelson KAGAN, and Ernesto João ROBBA. Introdução a sistemas elétricos de potência—componentes simétricas. *São Paulo: Editora Blucher*, 2000.