



UFRJ

Politécnica
UFRJ

CONCURSO DE PROVAS E TÍTULOS DO MAGISTÉRIO SUPERIOR
EDITAL Nº 54 DE 30/01/2024 – PUBLICADO NO DOU Nº 24 DE 02/02/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VAGA MC-205 – SETOR DE ELETROMAGNETISMO E APLICAÇÕES A SISTEMAS
ELÉTRICOS

DIA: 11 de novembro de 2024.

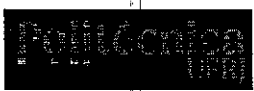
LOCAL: Sala H-227A - Bloco H - Escola Politécnica/CT/UFRJ

2191

CADERNO DE QUESTÕES - PROVA ESCRITA

1) Determine as equações que descrevem o comportamento da tensão e da corrente em linhas de transmissão com perdas no domínio da frequência e suas respectivas soluções. Discuta as constantes envolvidas e seus impactos nas características de propagação.

2) Considere um cabo coaxial de comprimento infinito, com raio interno a , raio externo b , e meio dielétrico ideal, submetido a uma diferença de potencial V constante. Elabore a solução do campo na região do dielétrico a partir de métodos analíticos e numéricos, como diferenças finitas e/ou elementos finitos.



CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR	
PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 11/11/2024	PY91

QUESTÃO Nº 1

As linhas de transmissão são responsáveis por transmitir e entregar a energia elétrica as concessionárias distribuidoras. A eficiência e o desempenho das linhas de transmissão dependem das características dos seus materiais condutores e dielétricos, da interação entre seus campos elétricos e magnéticos e da propagação das ondas eletromagnéticas ao longo das linhas de transmissão.

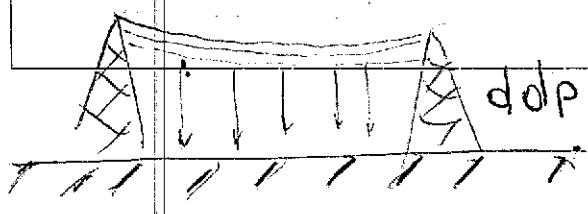
As principais características de uma linha de transmissão podem ser classificadas em quatro, i.e.:

1) Resistência (R) é a resistência de cada por unidade de comprimento e está associada as perdas ôhmicas por efeito Joule.

2) Indutância (L) está relacionada com a parte externa dos cabos condutores e é responsável por armazenar energia magnética - H .



3) Capacitância (C) está relacionada a diferença de potencial que se estabelece entre as linhas e é responsável por armazenar energia elétrica - E .





CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR	
PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 11/11/2024	P191

QUESTÃO Nº 1

Condutância (G) está relacionada com o dielétrico entre os condutores, e está diretamente associada as perdas dielétricas.

Com essas características é possível determinar a impedância característica da linha de transmissão, Z_0 :

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \text{EQ(1)}$$

↳ frequência angular
↳ telmoximãse

Conhecendo a impedância característica da linha (Z_0) e da carga (Z_L) é possível obter a fração do coeficiente de reflexão de ondas, i.e.:

↳ coeficiente de reflexão de ondas eletromagnéticas

$$\Gamma = \frac{Z_0 - Z_L}{Z_0 + Z_L} \quad \text{EQ(2)}$$

↳ Quanto maior a frequência maior a reflexão de ondas eletromagnéticas

Como podemos observar, a partir das EQ(2), quando a





CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO
CANDIDATO

LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 11/11/2024

191

QUESTÃO Nº 1

Impedâncias da carga se diferem bruscamente (ou de forma relevante) da impedância característica as interferências eletromagnéticas aumentam. Ou seja, quanto maior a diferença entre Z_0 e Z_L , maior a reflexão de ondas ao longo do linha de transmissão.

As ondas eletromagnéticas geram ondas estacionárias, cujas amplitudes máximas e mínimas permitem obter uma relação entre elas cujo resultado permite concluir sobre o desempenho eletromagnético do linha, isto é, quanto mais próximo de "1" melhor.

Para que as linhas de transmissão consigam ter um bom desempenho, com as menores perdas possíveis, a fim de entregar a máxima potência para a qual foi projetado é necessário garantir um bom casamento de impedância.

Para melhorar o desempenho das linhas de transmissão devido aos efeitos eletromagnéticos, usualmente, utilizam-se compensadores, como reatores nas subestações. Para minimizar os ruidos por efeito Joule, as transmissoras utilizam instalarem subestações elevadoras em um ponto estratégico das linhas de transmissão.

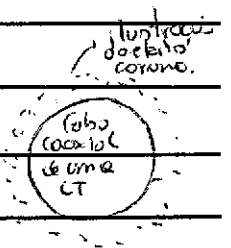


CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR	
PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA H-227A - BLOCO II - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 11/11/2024	P491

QUESTÃO N° 1

Na engenharia elétrica o dimensionamento dos cabos condutores, da geometria dos subcondutores está diretamente relacionado com a tensão de transmissão e consequentemente dos seus efeitos eletromagnéticos. Por exemplo:

Efeito Corono: também conhecido como gradiente, pode, muitas vezes, ser visto a olho nu,



Também emite um ruído devido a descarga grande pelo presença do campo elétrico nos. A intensidade do efeito corono depende, do bitola do cabo, da proximidade dos subcondutores, da umidade do ar, da salinidade do ar, mas fundamentalmente do erro de dimensionamento do cabo levando em consideração as aspectos da densidade e característica do ar da sua instalação.

Efeito Pelicular: o efeito pelicular tende a aumentar a resistência por unidade de comprimento do cabo, originando que eles sejam dimensionados constantemente para estes, também, perdas por efeito Joule.

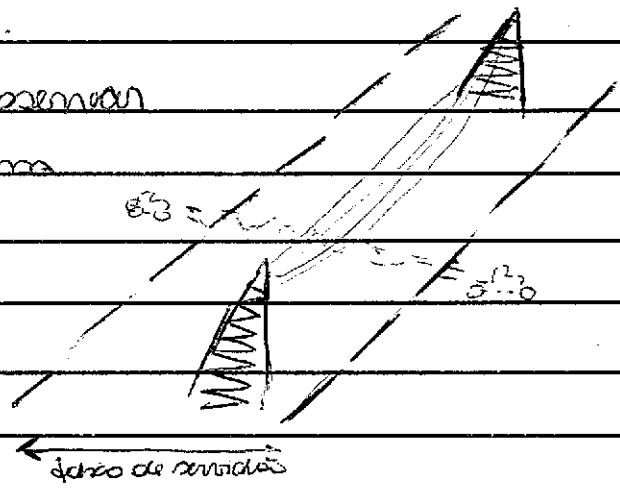


CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR	
PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)	CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO
LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ DATA: 11/11/2024	P/PI

QUESTÃO N° ①

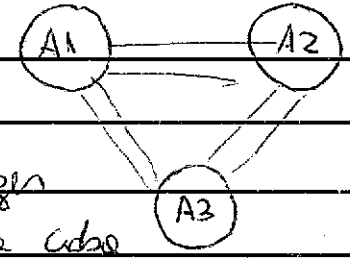
Outro ponto importante nas linhas de transmissão (LT) é o nível de campo elétrico e magnético, permitidos, a uma determinada altura do solo, ao longo do seu traçado de operação. Os níveis devem obedecer os limites exigidos pela regulamentação.

É interessante também observar a tensão induzida em um objeto que se movimenta sob a LT. Neste caso



form-se um campo eletromagnético variável e um objeto condutor variável submetido a esse campo. É claro que, de acordo com as leis de Maxwell, essa interação eletromagnética é mínima e não gera risco à população.

Outro aspecto interessante das LT são as subestações das condutoras de cada fase.



Essa técnica é utilizada porque muitas vezes é impossível o desmembramento de um único cabo por fase devido a inúmeras razões, como, por exemplo -> FASE A



CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO
CANDIDATO

LOCAL: SALA H-227A--BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CI/UFRJ

DATA: 11/11/2024

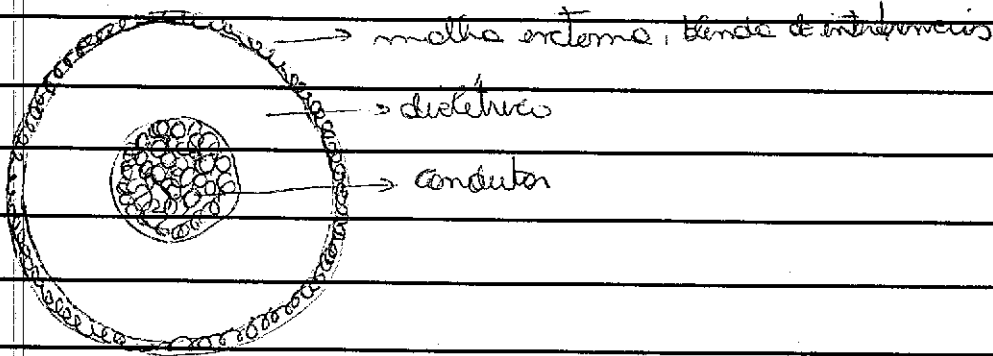
2191

QUESTÃO N° 1

a distribuição eletromagnética e o deslocamento das cabos. É
então importante a minimização dos efeitos eletromagnéticos
já citados.

Em uma LT, para calcular os campos eletromagnéticos
os cabos podem ser considerados infinitos devido a
longa extensão dos LT.

Cabo coaxial





CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

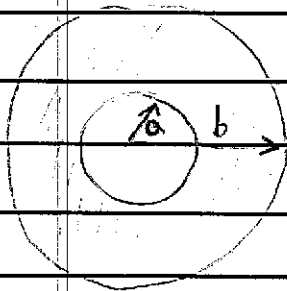
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO
CANDIDATO

LOCAL: SALA II-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ

DATA: 11/11/2024

1191

QUESTÃO Nº 2



Método analítico e algumas observações

Os materiais podem ser classificados de acordo com sua capacidade de condução ou não, de acordo com o número de elétrons livres para a condução de energia.

Quanto maior o número de elétrons livres maior a capacidade de condução. Conseqüentemente, quanto menor o número de elétrons livres pior a sua capacidade de condução elétrica.

Os materiais com baixa condutividade são denominados dielétricos. Não existe dielétrico ideal, mas esse conceito quer dizer que o dielétrico é perfeito, não sendo capaz de conduzir corrente, ou seja que significa ser um bom material isolante.

Exemplo de material isolante utilizado em transformadores: Papel.

→



CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO
CANDIDATO

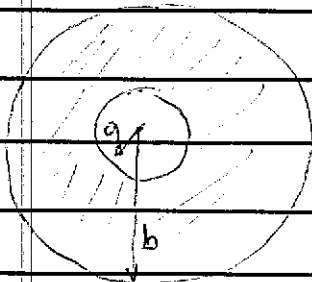
LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ
DATA: 11/11/2024

P191

QUESTÃO N° ②

Segundo a lei de Coulomb a força entre duas cargas pode ser definida como

$$\vec{F} = Q_1 Q_2 \frac{\vec{a}_R}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$



O campo elétrico pode ser definido como:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q} \quad [N/C]$$

Logo:

$$\vec{E} = Q \frac{\vec{a}_R}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

Seja assim:

$$\vec{E} = \int \frac{\rho_e dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad \text{para uma linha}$$

$$\vec{E} = \int \frac{\rho_e dS}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad \text{para uma superfície}$$

$$\vec{E} = \int \frac{\rho_e dV}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad \text{para um volume}$$

→



CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

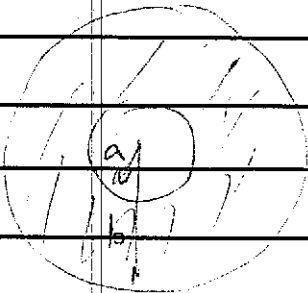
PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO

LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ
 DATA: 11/11/2024

P491

QUESTÃO N° 0

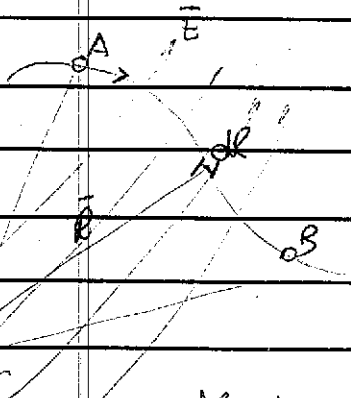


Neste caso, temos:

$$\vec{E} = \frac{\rho \, dl}{4\pi\epsilon_0 R^2} \vec{e}_r$$

A densidade da carga pode ser dada por: $\rho = \epsilon_0 \vec{\nabla} \cdot \vec{E}$

E o fluxo pode ser obtido fazendo: $\Psi_{el} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$



Para mover uma carga do ponto A para o B sob um campo magnético realiza-se um trabalho w tal que, podemos deduzir:

$$w = F \cdot dl$$

$$\int dl \, V_{AB} = \int \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Aplicando o Teorema da divergência

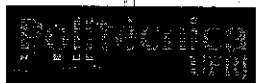
$$\int \vec{\nabla} V_{AB} = \int \vec{E} \, dl \quad \text{Forma integral (cancelada)}$$

$$\vec{\nabla} V_{AB} = \vec{\nabla} \times \vec{E} \quad \text{Forma diferencial (cancelada)}$$

EQUAÇÕES DE MAXWELL NAS SUAS FORMAS INTEGRAL e diferencial.

Seendo assim, podemos continuar:





CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

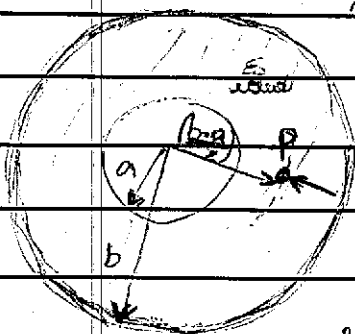
CODIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO CANDIDATO

LOCAL: SALA H-227A- BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ
 DATA: 11/11/2024

1491

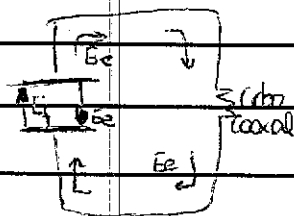
QUESTÃO N° 02

Para um cabo coaxial infinitamente longo basta resolver a seguinte equação a fim de determinar o campo elétrico no interior do dielétrico que separa o condutor do molho exterior.



Considerando o cabo posicionado na origem e que se deseja saber o campo elétrico no ponto P de raio $(b-a)/2$.

Dev-se calcular o campo dentro do condutor de raio 'a' (~~dentro do condutor~~). Sabe-se que



$$\vec{E} = \int \frac{\rho_e dl}{4\pi\epsilon_0 r^2} \vec{a}_r$$

Para um condutor infinitamente longo:

$$\vec{E} = \frac{\rho_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \int dl \vec{a}_r$$

$l_{\text{cabo}} = 2\pi r = 2\pi l$

ONDE:
 ρ_e : densidade de carga
 ϵ_0 : permitividade de vácuo
 r : distância em coordenadas cilíndricas

$$\vec{E} = \vec{E}_{ap} + \vec{E}_{bp}$$

$$\vec{E} = \frac{\rho_e}{2\epsilon_0} \vec{a}_r + \frac{\rho_e}{2\epsilon_0} \vec{a}_r$$

$$\vec{E} = 0$$

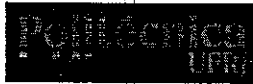
$$\vec{E} = \frac{\rho_e}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 2\pi r^2 \vec{a}_r$$

$$\vec{E} = \frac{\rho_e}{2\epsilon_0} \vec{a}_r \quad [N/C]$$

Equação que o campo elétrico no condutor infinitamente longo.

A equação pode ser usada para determinar o campo elétrico em qualquer ponto, para um condutor infinitamente longo.

Neste caso, deseja-se calcular \vec{E} no ponto P (ver figura). Para $(b-a)/2$



CONCURSO PÚBLICO PARA PROVIMENTO EFETIVO DE VAGAS NO CARGO DE PROFESSOR DA CARREIRA DE MAGISTÉRIO SUPERIOR

PROVA ESCRITA (CADERNO DE RESPOSTAS)

CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO DO
CANDIDATO

LOCAL: SALA H-227A - BLOCO H - ESCOLA POLITÉCNICA/CT/UFRJ
DATA: 11/11/2024

1991

QUESTÃO Nº 01 Neste caso,

Como temos um dielétrico ideal, o campo elétrico é nulo.

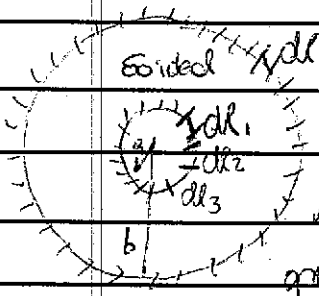
Sabendo $\nabla \times \vec{E} = 0$ a potencial pelo Equação diferencial de Maxwell

Dielétrico $\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} = 0$ densidade do campo elétrico no dielétrico

$\vec{E} = 0$ Campo elétrico no dielétrico.

Se não $\vec{E}_p = \vec{E}_{ap} + \vec{E}_{dp}$ conforme explicado na página anterior.

Método das diferenças finitas



$\sum dl$ Uma desvantagem desse método é que ele se

limita quanto à geometria do problema, se limitando a geometrias simples.

O método consiste em dividir uma função derivada de base em variáveis funções finitas conhecidas, agregando a cada uma delas um peso que permita resultar em um somatório das partes do problema, a qual foi subdividida.

Neste caso, pode-se dividir em N ou finitas partes o arco dos condutores, agregar um peso a elas, realizar o somatório final de finitas partes calculadas para se obter o \vec{E} final.

$$f(x) = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Exemplo para uma função $f(x)$