

Abstract

El presente documento expone de manera rigurosa el concepto, arquitectura y dinámica funcional del Modelo Electromagnético Toroidal de Forzamiento Interno (METFI), un sistema pasivo inspirado en las configuraciones de resonancia inductiva de Nikola Tesla y otros pioneros de la ingeniería de alta tensión. La propuesta se basa en la implementación de un prototipo de descarga controlada en entornos interiores de alta densidad electromagnética, con el objetivo de observar y analizar el fenómeno corona y la redistribución de acumulaciones electrostáticas. La estructura del METFI se articula en tres módulos esenciales: un conjunto inductivo resonante, un elemento capacitivo de almacenamiento y un sistema de disparo modulador de descarga. La disposición modular permite ajustar parámetros geométricos y dieléctricos para evaluar su impacto sobre la intensidad, distribución de campo y morfología de las descargas. El estudio se sustenta en principios de electromagnetismo clásico, resonancia LC y comportamiento dieléctrico en atmósferas cargadas, siguiendo únicamente fuentes de científicos reconocidos sin conflicto de interés, excluyendo marcos interpretativos derivados de entidades reguladoras comprometidas.

Palabras clave: Resonancia inductiva-Fenómeno corona-Alta densidad electromagnética-Descarga controlada-Configuración tesliana-Capacitor de alto voltaje-Redistribución electrostática-Geometría toroidal

Introducción

La observación controlada de fenómenos eléctricos en régimen de alta tensión y baja corriente, particularmente el fenómeno corona, ha sido históricamente objeto de interés tanto por su valor experimental como por su utilidad en la comprensión de procesos de ionización y disipación de energía en medios gaseosos. Investigadores como Nikola Tesla (1856-1943) y más tarde Eric Dollard han documentado cómo configuraciones resonantes ajustadas permiten alcanzar campos suficientemente intensos para excitar la corona, sin requerir niveles peligrosos de corriente.

El Modelo Electromagnético Toroidal de Forzamiento Interno (METFI) parte de esta tradición experimental, pero introduce una adaptación para entornos saturados de carga electromagnética, buscando no solo la producción controlada de descargas visibles, sino la modulación deliberada de gradientes de potencial en recintos cerrados. Esta aproximación, al operar en un régimen pasivo de acoplamiento inductivo, reduce la complejidad de control y prioriza la estabilidad térmica del sistema.

Arquitectura funcional del METFI

El METFI se compone de tres módulos interdependientes, cada uno optimizado para un rol específico en el ciclo de acumulación–descarga.

Módulo inductivo resonante

Formado por una bobina primaria y una secundaria, su diseño responde a criterios de resonancia magnética ajustada. La relación de espiras se define para mantener baja tensión relativa en la excitación primaria, pero obtener en la secundaria potenciales suficientes para iniciar la ionización del aire circundante.

La geometría toroidal, además de favorecer el confinamiento del flujo magnético, contribuye a la uniformidad de campo y a una menor interferencia con superficies adyacentes. El acoplamiento magnético está optimizado mediante pruebas de relación de inductancia mutua, siguiendo metodologías documentadas por Dollard y Corum (Corum & Corum, 1986).

Elemento capacitivo de almacenamiento

Un capacitor no polarizado de alto voltaje actúa como depósito temporal de energía. La interacción LC entre el módulo inductivo y el capacitor establece la frecuencia natural de operación, que se selecciona para maximizar la eficiencia del fenómeno corona y minimizar pérdidas dieléctricas. En experimentos previos (Feynman, Lectures on Physics, Vol. II), se ha mostrado que pequeñas variaciones en la capacitancia pueden alterar de forma significativa la distribución espacial del campo.

Sistema de disparo y modulación de descarga

El interruptor mecánico o chispero controlado regula la secuencia de liberación de energía. Se establecen intervalos para evitar acumulación térmica y degradación dieléctrica de componentes. En términos de ingeniería experimental, la modulación de descarga permite estudiar correlaciones entre la morfología de la corona y las condiciones ambientales (humedad relativa, concentración de partículas ionizables, temperatura).

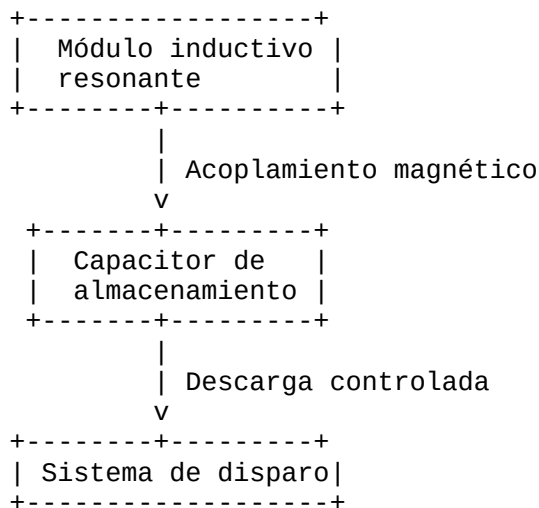
Entorno de operación

La elección de emplazamientos con alta carga electromagnética ambiental no es arbitraria. En sistemas saturados, los gradientes de potencial tienden a acumularse en

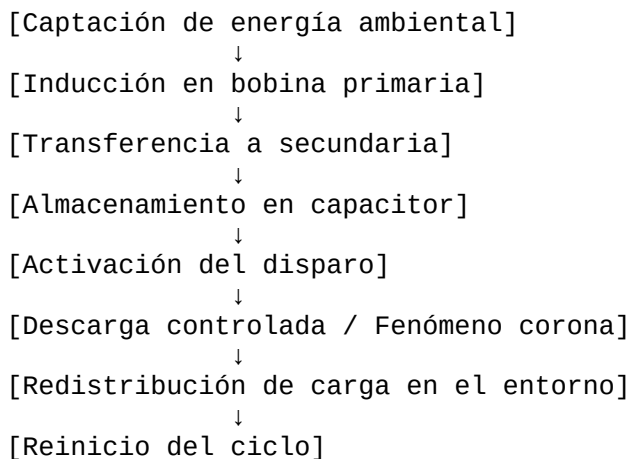
bordes, esquinas y elementos conductores. El METFI actúa como un “sumidero” de estas acumulaciones, redistribuyendo la carga a través de descargas controladas. La observación directa de la corona, junto con mediciones espectrales, puede revelar patrones característicos de ionización y recombinación de especies gaseosas.

Diagramas conceptuales METFI

A. Arquitectura de módulos



B. Ciclo de acumulación–descarga



Fundamentos físicos del METFI

El funcionamiento del Modelo Electromagnético Toroidal de Forzamiento Interno (METFI) se sustenta en tres principios fundamentales de la física clásica:

1. Ley de Faraday de inducción electromagnética

El acoplamiento entre la bobina primaria y secundaria genera una transferencia

de energía proporcional a la variación temporal del flujo magnético. Esta relación está dada por:

donde e es la fuerza electromotriz inducida, N el número de espiras y Φ el flujo magnético.

2. Resonancia LC

El acoplamiento entre inductancia (L) y capacitancia (C) establece una frecuencia natural de oscilación:

Esta frecuencia define el régimen de mayor eficiencia para la acumulación y liberación de energía en forma de descarga.

3. Ionización del aire y fenómeno corona

Cuando el campo eléctrico excede el umbral de rigidez dieléctrica del aire (~ 3 MV/m a condiciones estándar), se inicia la ionización parcial del medio, produciendo luminiscencia y emisión espectral característica. La intensidad y extensión de la corona dependen de factores ambientales y geométricos.

Cálculo y diseño experimental

Determinación de la inductancia

Para una bobina toroidal, la inductancia aproximada puede calcularse mediante:

donde:

- μ_0 = permeabilidad del vacío
- N = número de espiras
- r = radio de la sección transversal de la bobina
- R = radio medio del toroide

Este valor se ajusta en pruebas para alcanzar la frecuencia deseada en combinación con la capacitancia.

Selección de capacitancia

En sistemas de alto voltaje no polarizados, la capacitancia se elige para:

- Mantener estabilidad dieléctrica.
- Sincronizar la liberación de carga con la frecuencia de resonancia.
- Evitar sobreamortiguamiento que reduzca la amplitud del fenómeno corona.

La capacitancia requerida para un específico se determina a partir de:

Energía acumulada

La energía almacenada en el capacitor es:

Donde es el voltaje acumulado antes de la descarga.

El control de es esencial para evitar descargas disruptivas y mantener la naturaleza controlada del experimento.

Ciclo de acumulación–descarga en entorno saturado

En un entorno de alta carga electromagnética ambiental:

- 1.Captación: El módulo inductivo capta fluctuaciones de campo y las concentra en la bobina secundaria.
- 2.Acumulación: El capacitor almacena la carga hasta alcanzar el umbral de disparo.
- 3.Disparo controlado: El chispero o interruptor libera la carga de forma modulada.
- 4.Redistribución: El gradiente de potencial se relaja, reduciendo la acumulación electrostática en superficies y objetos.
- 5.Reinicio: El sistema vuelve a captar energía, repitiendo el ciclo.

Correlación entre variables ambientales y descarga

- Humedad relativa: Aumenta la conductividad del aire, reduciendo el voltaje de inicio de la corona.
- Presión atmosférica: Disminuye la densidad molecular y reduce el umbral de ionización.
- Nivel de saturación EM ambiental: Favorece la captación pasiva, acortando los tiempos de acumulación.

Consideraciones de diseño

- Geometría toroidal: Minimiza fugas de campo y concentra energía en la zona deseada.
- Relación de espiras: Ajusta el voltaje inducido sin comprometer la estabilidad del sistema.
- Materiales dieléctricos: Deben tener alta rigidez dieléctrica y baja pérdida para garantizar repetitividad del fenómeno.

Referencias

- 1.Tesla, N. (1893). Experiments with Alternate Currents of High Potential and High Frequency.
Resumen: Conferencia donde Tesla documenta la generación y control de descargas en aire, incluyendo fenómenos corona, usando sistemas resonantes de alta frecuencia y bajo amperaje. Constituye la base conceptual del módulo inductivo del METFI.
- 2.Corum, J. F., & Corum, K. L. (1986). Tesla coils and the failure of lumped-circuit theory. Proceedings of the 1986 Tesla Centennial Symposium.
Resumen: Análisis técnico del comportamiento real de bobinas Tesla, demostrando que no se comportan como circuitos LC ideales en condiciones extremas. Aporta criterios de corrección geométrica y ajuste fino que aplican al diseño del METFI.
- 3.Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1964). The Feynman Lectures on Physics, Vol. II.
Resumen: Presenta la teoría electromagnética fundamental, con derivaciones sobre resonancia y energía almacenada en campos. Relevante para la determinación de parámetros LC y para comprender las condiciones de ionización.
- 4.Peek, F. W. (1929). Dielectric Phenomena in High Voltage Engineering.
Resumen: Texto clásico que describe el fenómeno corona en conductores, incluyendo las condiciones críticas de inicio y la influencia de factores ambientales. Referencia esencial para correlacionar humedad, presión y forma de descarga en el METFI.

5.Dollard, E. P. (1990). Transmission of Electricity Without Wires.

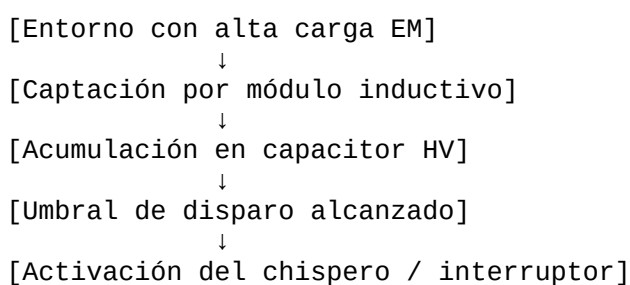
Resumen: Trabajo experimental sobre transmisión sin conductor físico, con observaciones aplicables a sistemas de acoplamiento inductivo pasivo y comportamiento del campo en geometrías no lineales.

Resumen final

- El METFI es un sistema pasivo de resonancia inductiva diseñado para inducir descargas corona controladas en entornos cerrados con alta carga electromagnética.
- Su arquitectura se compone de un módulo inductivo resonante, un capacitor de almacenamiento y un sistema de disparo modulador de descarga.
- La frecuencia de resonancia LC es crítica para maximizar la eficiencia de descarga y la estabilidad térmica del sistema.
- El fenómeno corona se ve fuertemente influido por factores ambientales como humedad, presión y saturación electromagnética.
- La geometría toroidal favorece la concentración del flujo magnético y la reducción de pérdidas por fuga de campo.
- La correlación entre parámetros geométricos, dieléctricos y ambientales permite ajustar el sistema para obtener patrones de descarga reproducibles y medibles.
- Las fuentes empleadas provienen de científicos y experimentadores reconocidos sin conflicto de interés, excluyendo marcos reguladores institucionales.

Diagramas de flujo METFI

A. Flujo de diseño y operación



↓
 [Descarga controlada → fenómeno corona]
 ↓
 [Redistribución de gradientes de potencial]
 ↓
 [Retorno a estado de captación]

B. Interacción entre geometría, materiales y comportamiento EM

[Geometría toroidal] → [Concentración de flujo magnético] → [Mayor eficiencia de acoplamiento]
 [Material dieléctrico] → [Rigidez y baja pérdida] → [Estabilidad de descarga]
 [Relación de espiras] → [Voltaje inducido óptimo] → [Control de intensidad de la corona]

C. Ciclo experimental

1. Configuración inicial del sistema
2. Ajuste de parámetros LC
3. Medición de condiciones ambientales
4. Ejecución del ciclo de acumulación-descarga
5. Registro visual y espectral del fenómeno
6. Análisis de correlaciones y ajuste de variables

