

ANALYSIS OF DISTURBANCE SOURCES CAUSING ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY PROBLEMS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

İlhami ÇOLAK, İlhan KOŞALAY*, İbrahim SEFA

Gazi Üniversitesi,
Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Bölümü Teknik Okullar / ANKARA
(GEMEC-Gazi Electrical Machines and Energy Control Group/
Gazi Elektrik Makineleri ve Enerji Kontrol Gurubu)
*TRT Genel Müdürlüğü, Ankara Televizyonu Müdürlüğü, Oran / ANKARA

ABSTRACT

Technological development in electrical systems put forward the compatible working of both the electrical and the electronics equipment in the same electromagnetic environment.

Sources causing electromagnetic compatibility problems related to power system's own structure in high voltage can be given as the electrical transients related to switching, the insulation breakdown, the power frequency fields occurring at normal operating condition, the short circuit currents in earth systems and the transient events related to lightning. These sources are analysed as comparative and then general results are given.

Key Words: Electric power systems, electromagnetic compatibility, disturbances

YÜKSEK GERİLİMLİ GÜÇ SİSTEMLERİNDE ELEKTROMANYETİK UYUMLULUK PROBLEMİ YARATAN TEMEL KAYNAKLARIN İNCELENMESİ ÖZET

Elektrik tesislerinde, teknolojinin gelişimine paralel olarak, aynı ortamda beraber çalışan elektrik ve elektronik ekipmanların elektromanyetik açıdan birbirleriyle uyumlu çalışma zorunluluğu ortaya çıkmıştır.

Yüksek gerilimli güç sistemlerinin kendi ana yapılarına ilişkin olarak, elektromanyetik uyumluluk problemi ortaya çıkaran kaynaklar; anahtarlamaya bağlı elektriksel geçici olaylar, yalıtım bozukluğu, işletim esnasında oluşan şebeke frekanslı alanlar, topraklama sistemlerindeki kısa devre akımları ve yıldırıma bağlı geçici olaylar şeklinde sıralanabilir. Bu kaynaklar, karşılaştırılmalı olarak incelenmiş ve genel sonuçlar ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrik güç sistemleri, elektromanyetik uyumluluk, bozucu etkiler:

1. GİRİŞ

Elektromanyetik uyumluluk (EMC), elektrik ve elektronik sistemlerinin birlikte ve uyum içerisinde çalışmalarını sağlamak amacıyla uygulandığı çalışma alanıdır. Alternatif akım (AC) güç sistemlerinde, elektromanyetik emisyonlar genellikle; kesici, ayırıcı gibi cihazların çalışmaları esnasında, kablo, bara gibi iletim elemanlarında özel durumlarda, ya da alt sistemlerdeki elektronik elemanların çalışmaları sırasında ürettikleri işaretler sonucunda oluşmaktadır. AC güç kablolarında sadece 50 Hz'lik sinyal mevcut olmayıp, daha yüksek frekanslı işaretler de oluşabilmektedir (1). Bir metre, ya da daha uzun AC kablolarından yüksek frekanslı akımlar geçtiği zaman, kablo tıpkı bir anten gibi, etkin bir şekilde ışıma yapabilir. Bu kablolarda indüklenen işaretler,

1. INTRODUCTION

Electromagnetic compatibility (EMC) is defined as the compatible working of both the electrical and the electronics systems in the same electromagnetic environment. In alternating current (AC) systems, electromagnetic emission is generally created by the power switches, the separators, the breakers and other electronic components connected to the system. In AC cables, there are high frequency signals rather than 50Hz (1). When high frequency signal is passed through a 1m cable, then the cable acts as an antenna and starts to spread which affects the subsystems electromagnetically.

The starting point of analysing the EMC is that to accept the existing of different systems affecting each other. A power source, a few coupling roads and a

bağlantılı olduğu alt sistemlere geçerek elektromanyetik etkileşime neden olurlar.

EMC analizinde hareket noktası; birbirini etkileyen farklı sistemlerin olduğu kabulüdür. Etkileşim problemlerine ilk yaklaşım olarak; bir kaynak, birkaç tane kuplaj yolu veya modlar ve bir alıcı düşününebilir. Işınım (radyasyon) modu, diğer iki izole sistem arasında direkt alan kuplajı anlamına gelir. İletim modu, kaynak ve alıcı arasında, akım yönünün doğurduğu baskın etkilemenin olduğu durumları gösterir. Gerçek durumlarda, iki sistemin etkileşimi prensip olarak, Maxwell eşitliğinin yaklaşık sınır şartları kullanılarak tam çözümünden elde edilir. Ancak uygulamada, pratik açıdan farklı yaklaşımlar da kullanılmaktadır.

Güç sistemleri için temel EMC problemi yaratan kaynaklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Yüksek gerilimli elektrik devrelerinde bulunan devre kesicilerin ya da ayırıcıların anahtarlama işlemleri nedeniyle oluşan elektriksel geçici olaylar.
2. Yüksek gerilimli elektrik devrelerindeki yalıtım bozukluğundan ya da aynı devrelerdeki darbe bölücüsü ve kıvılcım atlamasından doğan elektriksel geçici olaylar.
3. Yüksek gerilim tesisleri normal çalışmalar sırasında meydana getirdikleri şebeke frekanslı elektrik ve manyetik alanlar.
4. Topraklama sistemlerindeki kısa devre akımlarından kaynaklanan gerilim yükselmeleri.
5. Yıldırımlardan kaynaklanan elektriksel geçici olaylar.

Elektrik tesisleri için özel olmayan, ama genellikle bu tesisler için de geçerli diğer EMC bozucu etki kaynakları da aşağıda sıralanmıştır.

1. Alçak gerilimli donanımındaki anahtarlama işlemlerinden kaynaklanan elektriksel hızlı geçici olaylar.
2. Elektrostatik boşalmalar.
3. Tesisin dışındaki veya içindeki radyo vericileri tarafından üretilen yüksek frekanslı alanlar.
4. Tesis içerisindeki diğer elektrik veya elektronik parçalardan kaynaklanan yüksek frekanslı iletimsel ve ışınımsal bozucu etkiler.
5. Güç kaynağından kaynaklanan düşük frekanslı iletimsel bozucu etkiler.

Ayrıca aşağıdaki diğer iki elektromanyetik bozucu çeşidi, özel durumlar için göz önüne alınır:

6. Nükleer elektromanyetik darbe (NEMP).
7. Jeomanyetik girişim.

receiver can be thought as the first approach to EMC problems. Lightning mode can be direct field coupling between two isolated systems. Conductive mode shows the event of current direction between the source and the load. Generally, in real applications, compatibility of two systems can be obtained using complete solution of Maxwell equations considering boundary conditions. But, there are also different solution methods available.

The sources causing EMC problems in power systems can be given as follows;

1. Transient events of the separators and the breakers in high voltage electrical systems.
2. Transient events of the bad isolation and the electrical arcs in high voltage electrical systems.
3. Electric and magnetic fields of the high voltage systems at their normal operation conditions with respect to the line frequency.
4. Peak voltages due to short circuit current in earth systems.
5. Transient electrical events caused by lightning.

The other sources creating EMC problem which are not special for electrical circuits, but also valid for them are given below;

1. Fast transient electrical events of the switching in low voltage systems.
2. Electrostatic discharges.
3. High frequency fields caused by radio transmissions in the systems.
4. High frequency communication and radiation effects of other electrical and electronics equipment in the system.
5. Low frequency communication effects caused by power supplies.

Two other EMC problems given below for special conditions have to be considered.

6. Nuclear electromagnetic shock.
7. Geomagnetic interference.

Şekil 1, yukarıdaki listede yer alan bazı bozucu etki kaynaklarını göstermektedir.

2. YÜKSEK GERİLİM DEVRELERİNDEKİ ANAHTARLAMA İŞLEMLERİNDEN KAYNAKLANAN ELEKTRİKSEL GEÇİCİ OLAYLAR

Güç tesislerinde yer alan devre kesici ve bağlantı kesicilerdeki anahtarlama işlemleri; teçhizatın temas noktaları (kontakları) arasında ΔV ani gerilim düşmelerine neden olarak sistemde elektromanyetik etkileşimlerin oluşmasına yol açarlar (2).

2. ELECTRICAL TRANSIENT EVENTS OF SWITCHING IN HIGH VOLTAGE CIRCUITS

Switching process of power switches in a system cause voltage drop, ΔV , on the line which produce EMC problems (2). Fig. 1 shows the sources causing EMC problems.

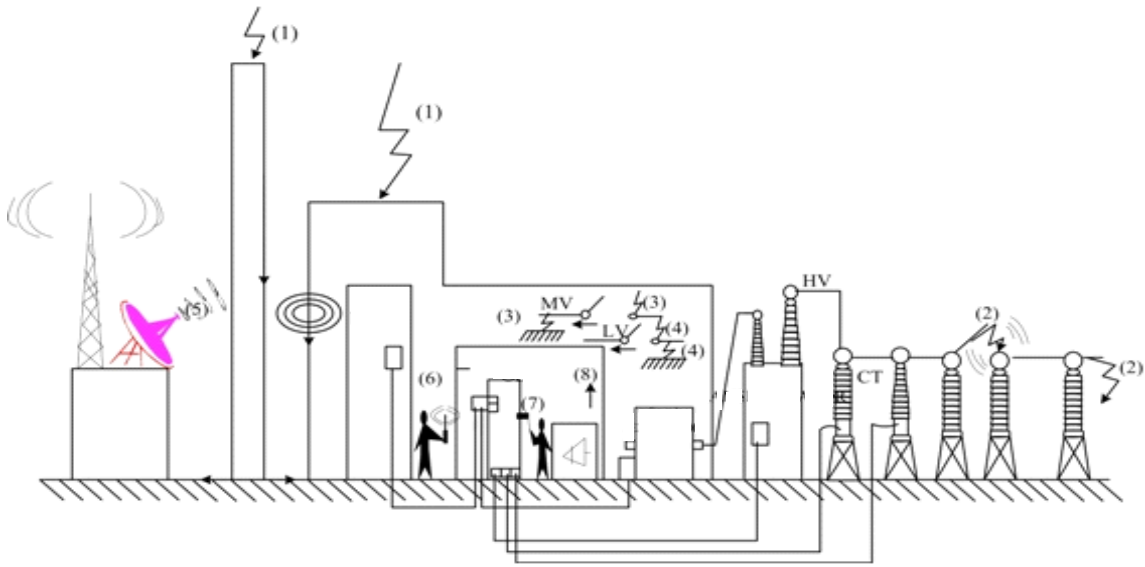


Figure 1 Block diagram of power station with sub-stations affecting auxiliary systems.

Şekil 1: İlgili alt istasyonu ile birlikte verilen bir güç istasyonunun yardımcı sistemlerini etkileyebilecek olan bozucu etki kaynaklarını gösteren şematik diagram.

Aynı ΔV için, Δt zamanı, esas olarak iki temas noktası arasındaki mesafeye bağlıdır. Gaz yalıtımlı trafo istasyonları (GIS) için birkaç nanosaniyeden açık hava trafo istasyonları (AIS) için birkaç yüz nanosaniyeye kadar bir değişim gösterir. Devre kesicilerin kapama işlemlerinde, gerilim düşmesi (çökmesi) ΔV , genellikle fazdan toprağa güç frekanslı gerilim değişiminin tepe değerine eşittir. Bir tek faz-hat arızasının temizlenmesi sonrasında üç faz yeniden kapanma uygulanması durumunda, bu ΔV değeri faz-toprak geriliminin 1,2-1,3 katına ulaşabilir.

Bağlantı kesicilerdeki anahtarlama işlemleri esnasında meydana gelen çoklu (5000'e kadar veya daha fazla) gerilim düşümleri, faz-toprak geriliminin 2 katına kadar toplam ΔV gerilim düşümü meydana getirebilir. Kesicilerdeki anahtarlama sonrası ortaya çıkan ΔV gerilim düşmesi nedeniyle, sistem gerilim ve akımının üzerinde sönümlü salınan dalga ortaya çıkar. Akımın başlangıç değeri (tepe değer), devrenin darbe empedansı ve ΔV ile ilgilidir. Salınan dalganın biçimine bağlı olarak, başlangıçtaki rampanın eğimi gerilimin düşme zamanı ile

Time difference Δt for same ΔV depends on the distance between two contact points. This time difference may change a few nanoseconds for gas isolated transformers and a few hundred nanoseconds for open air transformers. Voltage drop, ΔV , due to circuit breakers in operation, is equal to peak value of phase to earth voltage changes with power frequency. Voltage drop after putting the system in operation can be 1.2 or 1.3 times of the phase to earth voltage. Voltage drop can be 2 times of the phase to earth voltage while switching on and off of the power breakers.

Damped oscillations appear on the system voltage and current due to ΔV after the switching of circuit breakers. Peak value of current is related with the switching impedance of the circuit and ΔV .

The slope of starting ramp with respect to the shape of the oscillating waveform is related with the dropping time of the voltage and the frequencies of the oscillation are also related with the characteristics of the circuit. Typical frequencies are from a few kilo hertz to a few mega hertz

alakalıdır ve salınım frekansları devrenin karakteristiklerine bağlıdır. Tipik frekanslar; açık hava trafo istasyonları için birkaç kHz'den bir kaç MHz'e kadar olan bir aralıkta, GIS içinse birkaç MHz'e kadardır. Gerilim ve akım salınım dalgaları baralar üzerinde yayılarak elektrik ve manyetik alanlar üretirler.

Şekil 2, 500kV'luk bir bağlantı kesicinin açılmasıyla gerçekleştirilen ölçümlerin sonucunu göstermektedir; manyetik ve elektrik alanlar, direkt olarak baraların altında kalan zemin üzerinde ölçülmüşlerdir. Elektrik alanın akımdan ziyade yüke bağlı olmasına karşın, manyetik alan pratik olarak akımla orantılıdır ve farklı bir davranış sergiler. Anahtardaki akım kesilmesi sonucu, sistemde kalmış yükler nedeniyle, elektrik alan gerilim ve şarjda olduğu gibi sıfırdan farklı sabit bir değere yaklaşırken, manyetik alan, akımda olduğu gibi, bir kaç μ s'de sıfıra yaklaşır. Farklı gerilim seviyelerindeki açık hava trafo istasyonlarındaki anahtarlama işlemleri tarafından üretilen; baraların tam altındaki geçici elektrik ve manyetik alanlarının tipik değerleri, Tablo 1'de verilmiştir.

for open air stations (OAS), for gas isolated stations (GIS) its value is up to a few Mega Hertz. Oscillations of the voltage and the current create electrical and magnetic fields on the bus-bars.

Fig. 2 shows the results of measurements obtained after a 500 kV bus-bar connection is opened. Magnetic and electrical fields are measured over the ground below the bars. Although the electrical field is related with the load rather than current, in practice the magnetic field is related with the current and shows different behaviour. After cutting the current on the switch, due to remnant loads in the system, electrical field as happened in voltage and in charge comes close to a constant value which is different than zero, and magnetic field as happened in current come close to zero in a few μ s. Typical transient electrical magnetic fields measured below the bus-bars and produced by switching of open air transformer stations at different voltage levels are given in Table 1.

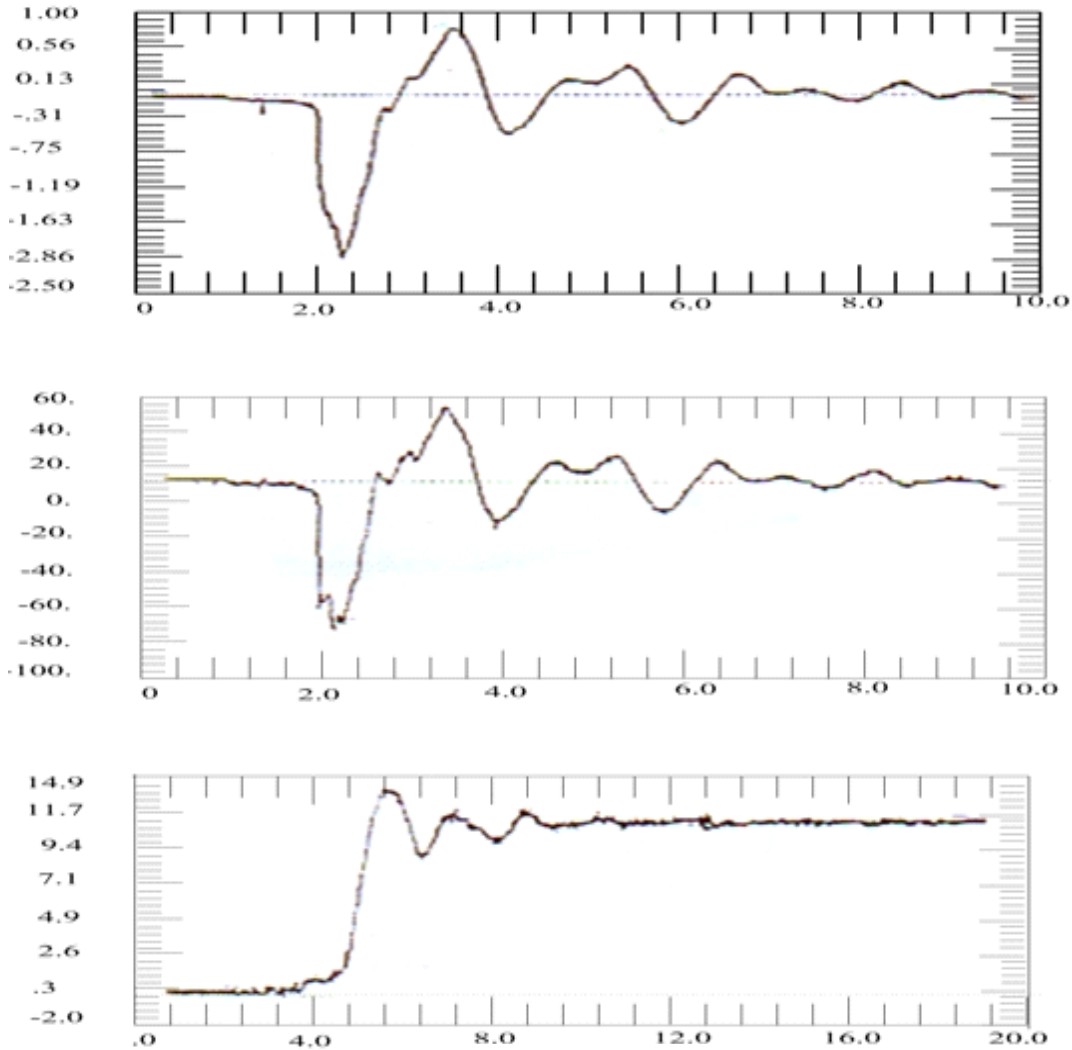


Figure 2. Bus-bar current and field measurements after a 500 kV breaker in AIS is opened.

Şekil 2. 500 kV'lık bir AIS' de bağlantı kesicisinin açılmasıyla yapılan bara akımı ve alan ölçümleri.

Table 1. Typical transient electrical magnetic fields measured below the bus-bars and produced by switching of open air transformer stations at different voltage levels.

Çizelge 1. Açık hava trafo istasyonlardaki bağlantı kesicilerin anahtarlama işlemleri tarafından üretilen geçici elektrik ve manyetik alanlarının tipik değerleri.

System voltage/ Sistem Gerilimi (kV)	Magnetic field/ Manyetik Alan (A/m)	Electrical field/ Elektrik Alan (kV/m)
115	35	5
230	70	7
500	150	13

Şekil 3, 500kV'lık bir GIS trafo istasyonundaki bir bağlantı kesicinin açılmasıyla oluşan ve gazla çevrili bölge altındaki zemin üzerinde ölçülen, "geçici manyetik ve elektrik alanlarını" göstermektedir; gaz/hava kaplaması (air bushing) yakınlarında, çok daha yüksek değerler (elektrik alanı için 10-20kV/m'ye kadar) tespit edilebilir.

Şekil 3' deki alan değişimleri ile, açık hava trafo istasyonlarına ilişkin olanlar karşılaştırıldığında; GIS'lerde baskın olan frekansların önemli ölçüde daha yüksek olduğu, tepe noktası genliklerinin AIS'e oranla daha düşük olduğu; GIS'lerde geçici işaretlerin sönümlenmesinin daha büyük olduğu ve elektrik alanının, kısa bir süre sonra sıfıra yaklaştığı görülmektedir.

Fig. 3 shows transient magnetic and electrical fields measured around the region of a 500kV GIS after opening the breaker. The higher electrical and magnetic field can be measured near by the gas/air bushing for 10-20kV/m electrical field. When the changes in Fig. 3 and in Fig. 2 are compared; effective signals in GIS are found very high, peak values of signals in GIS are found very less than AIS, and transient times of the oscillations of signals in GIS are found very long and electrical fields are dropped to zero after a short time.

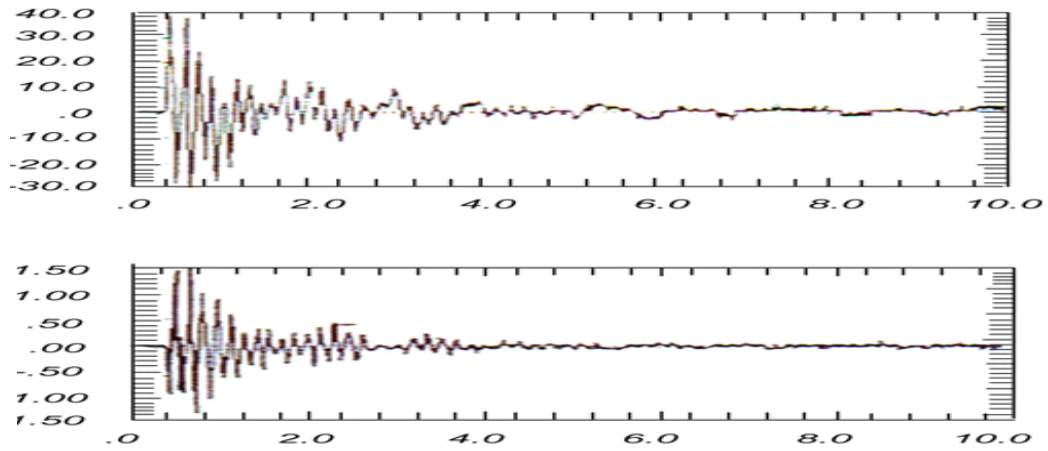


Figure 3. Magnetic and electrical fields measured after opening a 500 kV GIS breaker.

Şekil 3. 500 kV'lık bir GIS deki bir bağlantı kesicisinin açılmasına ilişkin alınan manyetik ve elektrik alan ölçümleri.

Topraklamayı içeren metalik kaplama, alanların, bilhassa elektrik alanının şiddetinin azalmasının belki de ana nedeni olduğu düşünülebilir. Geçit veya topraklama bağlantıları gibi süreksizliklerin yakınında daha yüksek seviyeli alanlarla karşılaşılabilir. Bu nedenle, bu tip süreksizliklere daha özel bir ilgi göstermek gerekir.

3. YÜKSEK GERİLİM DEVRELERİNDEKİ YALITIM BOZUKLUĞU, DARBE BÖLÜCÜSÜ VE KONTAK ARALIĞINDAKİ KIVILCIMLARDAN KAYNAKLANAN GEÇİCİ OLAYLAR

Yalıtımın bozulması ve kıvılcım atlamaları bir

It is thought that the metallic covering for grounding system reduces the electrical fields. High electrical fields can occur around the bushings or earth connections. Therefore, these uncertainties have to be considered seriously.

3. TRANSIENT EVENTS DUE TO SPARKS BETWEEN CONTACTS, SWITCHING DEVICE AND MISUSE OF ISOLATION IN HIGH VOLTAGE CIRCUITS

Bad isolation and sparks during switching time can cause fast voltage drop similar to reigniting transient events. Short circuit current in earth grid cause the voltage

anahtarlama işlemi sırasındaki yeniden tutuşmaya benzer geçici olaylar yaratan hızlı bir gerilim düşüşüne neden olur. Peşinden ortaya çıkan elektrik tesisinin toprak ızgarasındaki kısa devre akımı, şebeke frekanslı gerilim yükselmeleri meydana getirir (3).

Bu türde gelişen geçici olayların şiddeti, bir anahtardaki tekrar tutuşma geriliminden çok daha büyük olacak şekilde, yaklaşık olarak bozulma gerilimi ile doğru orantılıdır. Yalıtım bozulma gerilimi faz toprak geriliminin tepe değerinin 3 ile 6 katı aralığında olabilir. Yalıtım bozulmaları hassas donanıma nispeten yakın olarak oluştuğlarında, çok şiddetli elektromanyetik bozucu etkilerin oluşmasına neden olabilir. Bir temas aralığındaki kıvılcımın etkisi, daha az olan rastlantısal yerleşimi nedeniyle, bir yalıtım bozulmasından daha az şiddetlidir. Bununla beraber geçici olayların genliği normal olarak bir anahtardaki bir tekrar tutuşma süresince oluşandan çok daha büyüktür. Kıvılcım aralıklı parafudr tutuşması sıradan bir kıvılcım aralığına benzer yüksek frekanslı geçici olaylar verir. Durdurucu üzerindeki gerilim nedeniyle geçici olayların genliği daha düşüktür. Durdurucu, bir kısa devre akımının gelişmesini önler.

Boşluksuz bir durdurucu, iletken olmayan moddan iletken moda yumuşak bir geçiş göstermesi nedeniyle, yüksek frekanslı geçici olaylar meydana getirmez.

4. YÜKSEK GERİLİMLİ TESİSLER TARAFINDAN ÜRETİLEN ŞEBEKE FREKANSLI ELEKTRİK VE MANYETİK ALANLAR

Tüm güç tesisleri, sürekli hal koşullarında çalışırken etraflarında şebeke frekanslı elektrik ve manyetik alanlar üretirler. İletim hatları için, bu alanların verilen bir noktadaki seviyesi, hat konfigürasyonunun (özellikle zemin üzerindeki iletkenlerin yüksekliği, faz iletkenleri arasındaki mesafe, faz düzenlemesi ve devre sayısı) yanı sıra sırasıyla hat gerilimi ve hat akımına bağlıdır. Yüksek gerilimli tesislerdeki alanların hesaplaması ve ölçümü için, farklı metotlarla çeşitli yaklaşımlar yapılmıştır.

Şekil 4, bir örnek olarak, normal yüklenme koşullarındaki çalışan bir yüksek gerilim hattı tarafından üretilen elektrik ve manyetik alanların, ayakların ortasından alınan bir kesitteki yanal profillerinin baz olarak, yapılan hesaplamalarının sonuçlarını göstermektedir (4).

Güç hatları altındaki şebeke frekanslı elektrik ve manyetik alanlarının ölçümleri güç hatlarının nispeten basit konfigürasyonunun bir sonucu olarak, genellikle hesaplarla iyi bir uyum içerisindedir. Diğer taraftan güç santralleri ve trafo merkezlerindeki elektrik ve manyetik alanların hesaplanması için, daha kompleks yapıya sahip olduklarından, daha gelişmiş metotlara ihtiyaç duyulur. Bu tip metotlara bir örnek, 50Hz'lik manyetik alanın haritalanmasıyla ilgili Şekil 5' verilmiştir.

to be increased at line frequency (3).

The amplitude of these transient events is approximately proportional with the breakdown voltage. Its value is more than the reigniting voltage of the switch. Breakdown voltage of isolation is 3 or 6 times more than the peak value of phase to earth voltage. When the breakdown voltages of isolation happen very close to each other, they cause very strong EMC problems. Sparks between two contacts are less affective than breakdown of isolation. However, magnitude of transient events is very big than the magnitude of events during reigniting time of the switch. Reigniting of surge arrester causes high frequency transient events similar to distance of ordinary sparks. Magnitude of transient events is lower due to the voltage on the surge arrester, which prevents short circuit current to be happened.

A surge arrester without any space does not cause high frequency transient events due to the soft transition from isolation mode to conducting mode.

4. ELECTRICAL AND MAGNETIC FIELDS PRODUCED AT LINE FREQUENCY BY HIGH VOLTAGE SYSTEMS

All power systems operating in steady state conditions produces electrical and magnetic fields at line frequency. Magnitude of these fields at a specific point in transmission line depend on the level of conductors from the earth, the distance between phase conductors, the number of circuits, the phase organisation, the line voltage and phase current. When calculating and measuring the fields in high voltage systems, different methods are used.

Fig. 4 shows the electrical and magnetic fields produced high voltage transmission line at normal loading conditions. Calculation results are achieved based on the side profile of the middle cross-section of the foods (4).

Measurement of line frequency electric and magnetic fields under the transmission line are generally compatible with the calculations due to basic configuration of the transmission lines. On the other hand, developed methods are required to calculate the electric and magnetic fields in power stations and transformer centres which have complex structures. Distribution of magnetic field calculated at 50 Hz for a transformer station is given in Fig. 5.

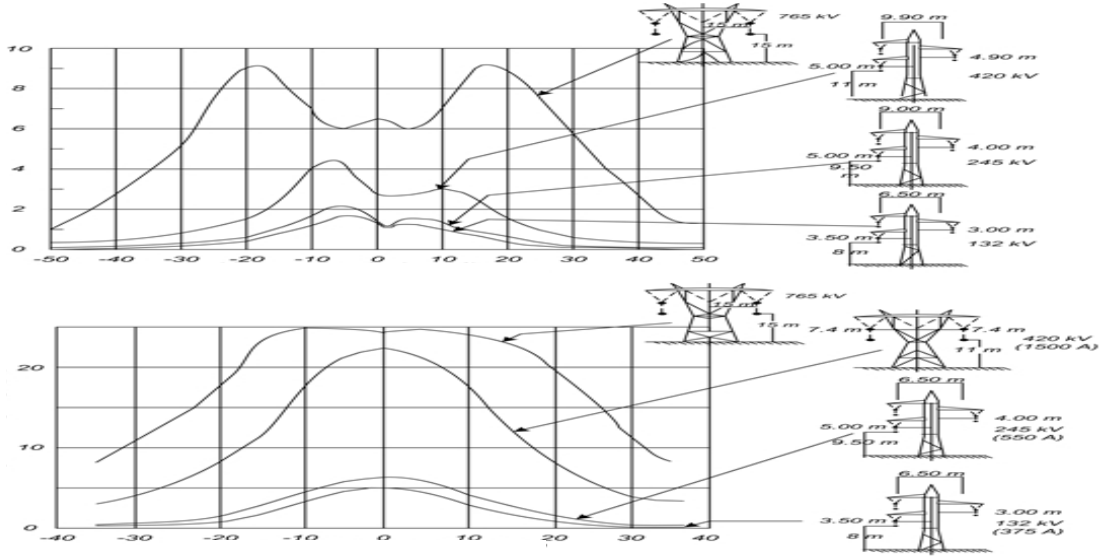


Figure 4. Changes of line frequency fields produced high voltage transmission lines.
Şekil 4. Y.G. hatları tarafından üretilen şebeke frekanslı alanların zemin üzerindeki değişimleri.

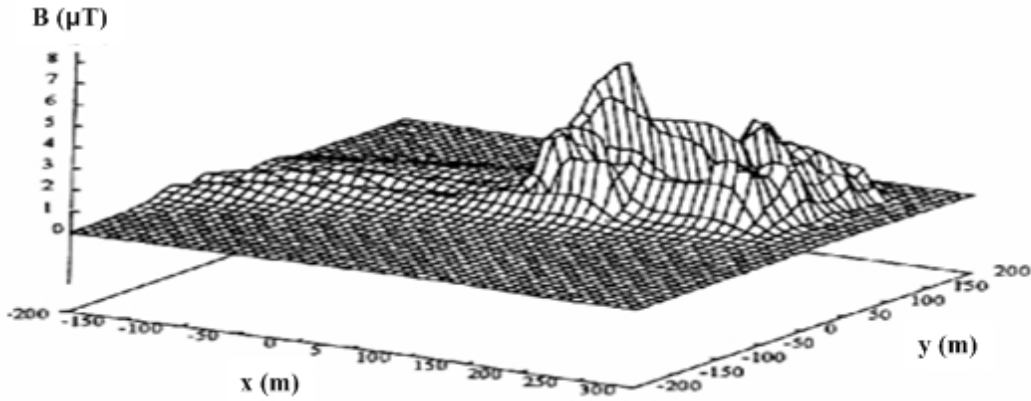


Figure 5. Magnetic field calculated at 50 Hz for a transformer station.
Şekil 5. Bir trafo merkezi için hesaplanmış 50 Hz'lik manyetik alanın grafiği.

5. TOPRAKLAMA SİSTEMLERİNDEKİ KISA DEVRELER VE YILDIRIM NEDENİYLE GERİLİM ARTIŞLARI

Yıldırım nedeniyle topraklama sistemi iletkenlerinde akan kısa devre akımları, topraklama sisteminin farklı noktaları arasındaki geçici potansiyel farklılıklarını meydana getirir. Buna bağlı olarak, otomasyon ve kontrol sistemleri için tehlikeli olabilecek gerilim yükselmeleri ortaya çıkabilir. Bu olaylar iki farklı zaman aralığında gelişir. İlki başlangıçtaki geçici periyottur. Hızlı geçici olaylarla karakterize edilir ve genellikle çok kısa sürelidir (mikro saniyeler mertebesinde). İkinci periyot ise stasyoner periyot adını alır. Yaklaşık olarak DC yada şebeke frekanslı uyarı ile karakterize edilir.

5 SHORT CIRCUITS IN GROUNDING SYSTEM AND VOLTAGE INCREASE DUE TO LIGHTNING

The current flowing in the conductors of grounding systems due to the lightning can causes the transient potential difference between two points of the grounding system. This causes voltage peaks which are very dangerous for automation and control systems. These events occur at two different times. First one is the transient period at starting. This can be characterised as the quick transient events and its time is very short such as microseconds. Second one is characterised as DC or line frequency excitation.

5.1 Topraklama Sistemlerindeki Geçici Gerilimler

Örnek olarak Şekil 6, tipik 1,2/50 μ s'lik 1kA genliğe sahip bir yıldırım darbesine maruz kalmış topraklama ızgara iletkenlerindeki hesaplanmış gerilim artışı dağılımının 3 boyutlu bir görüntüsünü göstermektedir (5).

Şekil 6, geçici olay boyunca gerilim dağılımının oldukça düzensiz olduğunu göstermektedir. Geçici periyot sonrasında (yaklaşık 10 μ s) tipik bir D.C. uyarımı olan uniform bir gerilim dağılımı ortaya çıkar. Topraklama iletkenlerinin besleme noktasına yakın olan yerlerindeki geçici gerilimler, en yüksek değerlere sahiptir. Bu şekildeki tepe değerler, durağan periyottaki değerlere oranla birkaç kat fazladır. Geçici gerilim tepe değerleri, az iletkenlikli toprak için, daha dik akım impulsları için ve ızgara köşesine yakın besleme noktaları için, genellikle daha yüksektir.

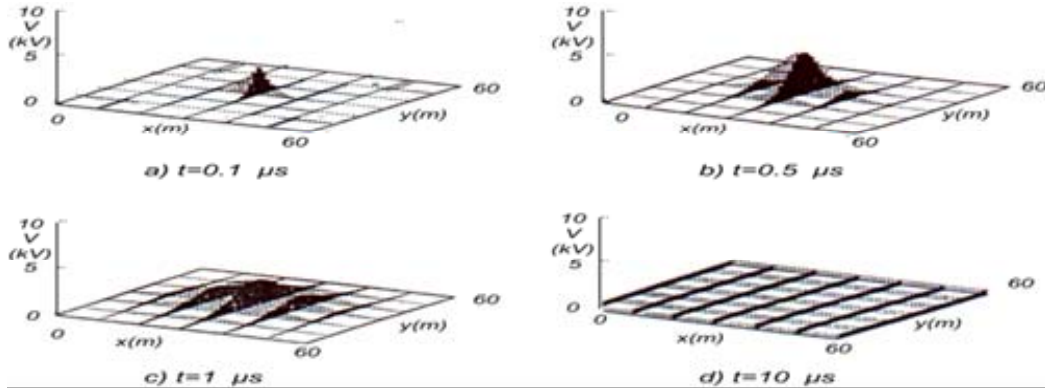


Figure 6. Variation of transient current in grid conductors when 1 kA current with 1.2/50 μ s period is applied at the middle point of 60 x 60 m² grounding grid.

Şekil 6. 60 X 60 m²'lik bir topraklama ızgarasının orta noktasına 1,2/50 μ s'lik 1kA genliğe sahip akım impulsu tatbik edildiğinde, ızgara iletkenlerinde meydana gelen geçici gerilim artışlarının farklı anlardaki değişimi.

5.2.Arızalara Bağlı Olarak, Topraklama Sistemlerindeki Şebeke Frekanslı Kısa Devre Akımları Nedeniyle Ortaya Çıkan Gerilim Artışları

Güç iletim hatları ve trafo merkezlerindeki farklı arıza tipleri nedeniyle hızlı geçici olayları takiben oluşan şebeke frekanslı kısa devre akımları, güç tesislerinin topraklama sistemlerinde bir saniyenin onda biri mertebeleri için sirkülasyon yapabilir (6,7). Bu kısa devre akımları 50 kA'e kadar çıkabilir. Kısa devre akım değerleri, güç şebekesinin yapısına, topraklama sistemiyle arıza arasındaki mesafeye ve arıza derecesine göre değişir.

Topraklama sistemindeki akım sirkülasyonu, sistem üzerindeki iki ayrı nokta arasında potansiyel farkları oluşmasına neden olur. Potansiyel derece eğiminin değeri temel olarak, toprağın direncine ve topraklama sisteminin konfigürasyonuna bağlıdır. Elektronik cihazlara bağlı güç veya sinyal kabloları bu nedenden dolayı şiddetli gerilim ve akım değerlerine maruz kalabilir.

Şekil 7'de, topraklama sistemi ve civarındaki yerlerde meydana gelen gerilim artışlarına ilişkin örnek grafik verilmiştir. Güç tesislerinin topraklama sistemlerinde meydana gelmesi olası tipik maksimum gerilim artış değerleri, arıza akımının sahip olduğu birim kA başına 1 ile 10 V arasında değişebilir.

5.1 Transient Voltages in Grounding Systems

Transient voltages in grounding system can be explained using the figures shown in Fig 6. In this figure, three dimensional view of the voltage increase can be seen in the grounding grid conductors under the affect of lightning with 1 kA current and 1.2/50 μ s period (5).

Fig. 6 shows that during the transient time, distribution of voltage is non-uniform. After the transient time, its distribution is uniform with small DC excitation. Transient voltages have their peak values at near the feeding points of grounding conductors. These peak values are a few times greater than the steady state values. Transient voltage peaks are much higher for grounding system with fewer conductors, at feeding point near the grid corners and when peak current impulse is applied.

5.2 Voltage Increases in Grounding System Due to Short Circuit Currents Created by Failures

Short circuit currents with line frequency caused by quick transient events due to different failures in power transmission lines and transformer centres are circulated during a few 1/10 seconds (6, 7). The short circuit current can have a value of 50 kA which depends on the structure of power system, distance of the earth system, failure, and grade of failure.

Circulation of current in grounding system causes potential difference at two points. Grade of the potential depends on the resistance of earth and its configuration. The cables connected to electronics equipment are under the affect of high voltage and current.

Fig. 7 shows an example of voltage increase in grounding system and around it. Maximum voltage increase in grounding of a power system can be 1 to 10 volts for current failure in kA.

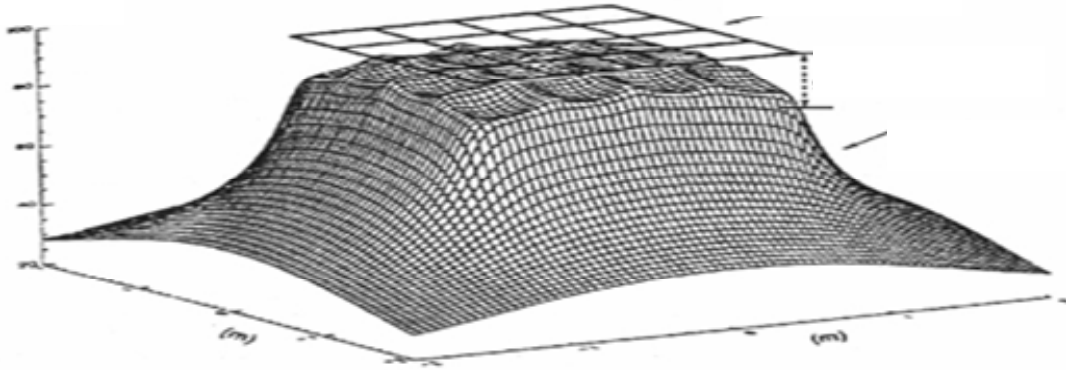


Figure 7. Voltage increase in grounding system and around it

Şekil 7. Topraklama sistemi ve civarındaki yerlerde meydana gelen gerilim artışlarına ilişkin grafik.

6.YILDIZIM SONUCU OLUŞAN ELEKTRİKSEL GEÇİCİ OLAYLAR

Yıldırım akımının karakteristik parametreleri elektrik mühendisleri tarafından izolasyon koordinasyonundaki önemi nedeniyle uzun yıllardır yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Günümüzde, yıldırım akımlarının temel parametreleri (genlik, eğim, meydana gelme sıklığı vb.) üzerine yapılmış ve pozitif ve negatif şoklarla, yıldırım oluşumu hakkındaki her türlü olası mekanizmayı içeren oldukça güvenilir ölçümlere dayanan veriler mevcuttur (8). Güç tesislerindeki EMC baz alınarak yapılan çalışmalar neticesinde, yıldırımın genel olarak aşağıdaki üç mekanizmayı başlatabileceği belirlenmiştir.

1. Yakın çevrede oluşan yıldırım akımının neden olduğu elektromanyetik alanlar ekipmanlara doğrudan etki eder, fakat tesisin yapısına zarar vermez.
2. Yıldırım direkt olarak elektrik tesisatına düşer (örneğin; yüksek gerilim hatları, topraklama iletkenleri, binalar ve direkleri) ve ardından yapı ve ekipmanlardaki akımlar arasında kuplajlar oluşur.
3. Yıldırım neticesinde oluşan elektromanyetik alanın güç hatlarına veya herhangi bir yapıya, kuplajı ve ardından yapı ve ekipman akımları arasındaki kuplaj meydana gelir.

6.1.Yıldırım Sonucu Oluşan Radyasyonun Direkt Etkisi

1. mekanizmaya bağlı olan bu olay çok yüksek enerji içeriğiyle değerlendirilen ve toprağa etki eden dönüş darbesi akımı göz önünde bulundurularak temel yönleriyle araştırılmıştır. Kanal akım dağılımına ilişkin çeşitli varsayımlardan yola çıkılarak modeller geliştirilmiştir. Değişik mesafeler göz önünde bulundurularak toprak seviyesinde gözlenen ve yıldırım akımları nedeniyle ortaya çıkan elektriksel ve manyetik alanların hesaplanmasında çeşitli analitik formüller kullanılmaktadır (8).

6.TRANSIENT ELECTRICAL EVENTS AFTER LIGHTNING

Characteristic parameters of the lightning current have been searched for many years due to its importance of isolation coordination. In these days, basic parameters of lightning current, which are magnitude, slope and its occurring frequency, have been studied and useful data obtained based on reliable methods available (8). The result of the studies based on EMC in power systems show that the lightning starts three mechanisms given below;

1. Magnetic field of lightning current directly affects the equipment, but not the structure of system.
2. Lightning directly affects the electric insulation and then creates coupling between currents of system and equipment.
3. Electromagnetic field after the lightning create coupling between power lines, system and equipment.

6.1. Direct Effects of Radiation Occurred After Lightning

This event is related with the first mechanism given above and it is analysed by considering the return stroke current to earth. Different models are developed based on the distribution of drain current. Calculation of electrical and magnetic fields caused by lightning at the level of ground is obtained using different analytical equations considering different distance (8).

6.2. Elektrik Tesislerindeki Güç Hatlarına ve Diğer Yapılara Doğrudan Gelen Darbeler

6.2.1. Güç Hattına Etki Eden Direkt Darbe

Bu tür bir olayın etkisi ile hat boyunca ilerleyen bir dalga meydana gelir. Yıldırımın direkt olarak faz iletkenleri üzerine düştüğü durumda, gerilim dalgasının yıldırım darbesi akımının biçiminden bağımsız bir cephesi ve biçimi olur. Biçimin artışı süresi çok kısa olabilir (μ s'nin kesirleri düzeyinde).

Direklerde ve toprak iletkenlerinde yıldırım darbeleri ile oluşan geri atlamalar olması halinde ve arkasından faz iletkenlerine doğru yayılan yalıtım çöküşlerinde, gerilim dalgasının cephesi onlarca ns dir. Ancak dalga biçiminin süresi, faz iletkenine direkt darbe durumundaki dalga süresinden daha azdır ve yaklaşık 5μ s ile den 15μ s arasında değişmektedir.

Her iki durumda dalga cephesinin korona impals başlangıç geriliminin (V_0) üzerindeki bölümünün değişimi, korona tarafından çok çabuk bir şekilde sönmümlendirilir ve belirli bir mesafeden sonra daha düşük bir eğim ortaya çıkar.

Güç hattına gelen direkt bir yıldırım darbesi ile hat yalıtımının çöküşü (breakdown) genellikle dalganın biçiminde, onlarca ns'den birkaç yüz ns'ye ulaşacak şekilde keskin değişimlerin ortaya çıkmasına neden olur. Bu değişimlerin eğimi, korona bozumundan etkilenmez. Sadece hat direnci ve kondüktansından kaynaklanan güç harcıyıcı etkiler bu eğimin sönmümlenmesine yol açmaktadır. Sonuç olarak, yalıtımın çökmesinden kaynaklanan uç kısmındaki kesilmeler (keskin değişimler), hat terminallerine bağlı ekipmanlarda (örneğin; akım transformatörlerinin ikincil sargılarında) dalga cephesinden daha yüksek gerilimler oluştururlar.

6.2.2. Yapılara Gelen Direkt Darbeler

Bu halde, ekipman içinde ya da yapı yakınında EMC açısından, yapının çeşitli kısımları boyunca olan impals akım dağılımı etkin bir rol oynar. Bu tür olayların ana parametreleri hakkındaki halihazırdaki bilgi oldukça sınırlıdır. Bazı pratik durumlarda, yapıya gelen direkt bir darbe yarı-durağan bir olay olarak düşünülmektedir.

7. SONUÇLAR

GIS ve AIS'lerde anahtarlamaya ilişkin geçici olaylara bağlı ortaya çıkan alan değişimlerinin farklılık arzettiği anlaşılmıştır. GIS'lerde baskın olan frekansların önemli ölçüde daha yüksek olduğu, tepe noktası genliklerinin AIS'e oranla daha düşük olduğu, yine AIS'e oranla geçici işaretlerin sönmümlenmesinin daha büyük olduğu ve elektrik alanının, kısa bir süre sonra sifıra yaklaştığı tespit edilmiştir.

Araştırmacılara göre, topraklamayı içeren metalik kaplamaların, bilhassa elektrik alanının şiddetinin azalmasının ana nedeni olabileceği düşünülmektedir. Geçit veya topraklama bağlantıları gibi süreksizliklerin yakınında daha yüksek seviyeli elektromanyetik alanlarla karşılaşılabilir.

6.2. Direct Shocks to Electrical Power Lines and Other Structures

6.2.1. Direct Shocks to Power Lines

Direct shocks to power lines are moving waves over the line. When direct shock drops on the phase conductors, voltage wave form has arcs which are independent from the shape of lightning current. Occurring time of this arc can be a few micro seconds.

When a flashover occurs on the earth conductors and masts, and if moving isolation failures through phase conductors, the side of the voltage wave is a few ten nanoseconds. But wave arc time is less (5μ s to 15μ s) than the wave time applied direct to line conductor.

In each case, the variations on the corona impulse starting voltage of wave side can quickly be damped by the corona. After a specific distance, very low slope occurs. Lightning shock coming direct to power line causes the isolation of line to be broken down which creates sharp changes of arc wave during a few hundred nanosecond. Slope of this change is not affected by corona distortion.

This slope can only be damped by the power consumer effects of line resistance. Sharp changes in arc due to failure of isolation can produce high voltages on the equipment such as current transformer.

6.2.2. Shocks Coming Direct To Structures

Distribution of impulse current all over the sections of structure takes an important role of EMC inside or near by the equipment. Information about the main parameters of these events is very limited. In some cases, a shocks coming direct to structure is assumed as semi stationery.

7. RESULTS

Field changes related to transient events of GIS and AIS switching have some differences. Dominant frequencies in GIS are higher than AIS, but their peak values are less than IAS, and damping of them are longer than IAS and then electrical fields comes closer to zero after a short time.

According to the researchers, metallic covers including grounding system are the main reasons for reducing the electrical fields' density. The higher electromagnetic fields can be found near by the discontinuities such as bushing or grounding connections.

Affective electromagnetic distortions can happen if isolation failures are very close to sensitive equipment. Therefore, a plan for the equipment has to be prepared

Yalıtım bozulmasının hassas donanıma yakın oluşması halinde, çok şiddetli elektromanyetik bozucu etkiler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle yalıtımın tehlike arzettiği yerlere dikkat edilerek ekipman planlanması yapılmalıdır.

İletim hatlarının etraflarındaki elektromanyetik alanların verilen bir noktadaki seviyesi hat konfigürasyonu, hat gerilimi ve hat akımına bağlıdır. Bu alanların hesabı, güç santralleri ve trafo merkezlerindeki gibi kompleks yapılara göre daha kolaydır.

Yıldırım nedeniyle topraklama sistemi iletkenlerinde akan kısa devre akımları, gerilim yükselmelerine sebebiyet vermektedir. Geçici gerilimin tepe değerlerinin, az iletkenlikli toprak için, daha dik akım impulsları için ve ızgara köşesine yakın besleme noktaları için, genellikle daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak, topraklama sisteminin farklı noktaları arasındaki geçici potansiyel farklılıkları nedeniyle, ortamda bulunan elektronik cihazlar şiddetli bozucu etkilere maruz kalmaktadırlar.

Yıldırım olgusu izolasyon koordinasyonundaki önemi nedeniyle uzun yıllar yoğun bir şekilde araştırılmıştır. Günümüzde, yıldırım akımlarının temel parametreleri üzerine yapılmış ve yıldırım oluşumu hakkındaki her türlü olası mekanizmayı içeren oldukça güvenilir ölçümlere dayanan veriler mevcuttur. Güç tesislerindeki EMC baz alınarak yapılan çalışmalar neticesinde yıldırımın genel olarak üç tür mekanizma ile işlediği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR/ REFERENCES

1. Clayton, R.P., "Introduction to Electromagnetic Compatibility", *John Wiley Sons Inc.*, USA, (1992)
2. Ari, N., Blumer, W., Thomas, D.E., "Transient EM fields due to switching operations in electric power systems", *IEEE Transaction on EMC*, 29 (3) : 233-237 (1987)
3. Working group 36.04, "Guide on EMC in power plants and substations", *CIGRE Pub.*, Paris, 81997)
4. Working group 36.01, "Electric and magnetic fields produced by transmission systems", *CIGRE Pub.*, Paris, (1980)
5. Grev, L.D., "Computer analysis of transient voltages in large grounding systems", *IEEE Transaction on power delivery*, 11 (2) : 815-823 (1996)
6. Russel, B.D., Harvey, S.M., Nilsson, S.L., "Substation electromagnetic interference : Characterization and description of the transient EMI problem", *IEEE Transaction on power apparatus and systems*, PAS-103 (7) : 1863-1871 (1984)
7. Russel, B.D., Kotheimer, C., Malewski, R., "Substation EM interference : Susceptibility testing and EMI simulation in high voltage laboratories", *IEEE Transaction on power apparatus and systems*, PAS-103 (7) : 1871-1880 (1984)
8. Andersen, R.B., Erikson, A.J., "Lightning parameters for engineering applications", *ELECTRA*, 69 : 11-15 (1980)

considering weak isolation points.

The levels of electromagnetic fields around the transmission lines are depend on the line configuration, the line voltage and the line current. Calculation of these fields is very easy comparing the complex structures like power stations and transformer centres.

Short circuit currents flowing through grounding line due to lightning cause voltage changes. Transient peak voltage values for grounding system with less conductors and for feeding points near to corners of grid are found high. In addition, electronic equipments in ambience are affected by strong failures due to transient potential differences of grounding system at different points.

The importance of the lightning for coordination of isolation has been studied for long time. In these days, there are reliable data about the parameters of lightning current and about the mechanism for occurring of lightning based on very reliable measuring methods. The studies done based on EMC in power systems show that the lightning occurs by three mechanisms.