

JAERI-M

7 3 8 5

測定回路系のノイズ対策

1977年11月

月橋芳広・竹腰英子

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

JAERI-M 7385

測定回路系のノイズ対策

日本原子力研究所東海研究所 物理部

月橋芳広・竹腰英子

(1977年10月21日受理)

放射線測定回路などの電子回路系が受けるノイズ障害の原因は、電磁波、アース回路、AC電源回路などによるものとされているが、現場においてはこれらが明確に判明できず対策に苦慮する例が多い。そこで、いくつかのテスト実験を通してノイズ障害の要因がAC電源回路にあることをつきとめ、この対策として効果的で画一的な方法が得られたので報告する。

JAERI-M 7385

Noise Countermeasures in Measuring System

Yoshihiro TSUKIHASHI and Eiko TAKEKOSHI

Division of Physics, Tokai Research Establishment, JAERI

(Received October 21, 1977)

The noise phenomena in general can be broadly of two types; i.e. first, originating in signal cable, loop and earth, and second, originating in the power system. In this report, countermeasures concerning the second type are described, which were revealed by simulation experiments with noise source of silicon-controlled rectifier, relay and discharge.

Key Words; Nuclear Instruments, Electronic Circuits, Measuring System,
Power System, Noise Sources

目 次

1. ま え が き	1
2. ノイズの伝播径路と特性	1
2.1 ノイズの伝播径路	2
2.2 ラインノイズの特性	2
2.2.1 ACラインノイズ波形	3
2.2.2 ACラインノイズの伝播範囲	3
2.3 軸射ノイズの特性	5
3. 測定回路系が受けるノイズの影響	6
3.1 電源系に侵入するACラインノイズによる影響	6
3.2 ノイズ源からの直接軸射ノイズによる影響	8
3.3 ACラインに接近することによって受ける影響	10
4. ノイズ対策	13
4.1 ノイズ発生源での対策	13
4.1.1 不要ノイズを発生させない方法	13
4.1.2 ノイズを漏洩させない方法	15
4.2 伝播径路でのノイズ対策	15
4.3 測定回路系でのノイズ対策	19
5. ノイズ対策のまとめ	20
6. あとがき	20

Contents

1. Introduction	1
2. Propagation of Noise and Characters of Noise	1
2.1 Propagation of Noise	2
2.2 Characters of Noise associated with the AC Line	2
2.2.1 Wave Trains of Noise	3
2.2.2 Region for the Propagation of Noise	3
2.3 Characters of Noise associated with the Electro-Magnetic Radiation	5
3. Coupling of Noise into the Measurement System	6
3.1 Coupling of the AC-Line Noise into the DC power supply of the System	6
3.2 Direct Coupling of the Electro-Magnetic Noise into the System	8
3.3 Coupling of Noise associated with the AC Line separated from the System	10
4. Solutions to Noise Problems	13
4.1 Solutions to Noise Problems at the Origin of Noise	13
4.1.1 Way to eliminate the Noise Generation	13
4.1.2 Way to prevent the Noise Leakage	15
4.2 Solutions to Problems with the Propagation of Noise ...	15
4.3 Solutions to Noise Problems in the Measurement System ..	19
5. Summary for Solutions to Noise Problems	20
6. Postscript	20

1. ま え が き

最近、半導体素子の発展、普及により原子力研究施設における放射線測定回路やそのデータ収集・処理用電子計算機および実験装置制御用電子回路などには多くの半導体素子が用いられている。これらの回路類に使用される半導体素子は、高インピーダンス部分を含み集積化が著しく、高速・微弱信号によって信号の授受が行われている。したがって、回路外から来る電氣的ノイズ（以下ノイズと記す）に対して敏感であり誤動作防止のための十分な対策が必要とされる。

一方、重機械、工具、実験装置などの電動化に伴いノイズも非常に増加しており、例えばリレー、SCR（シリコンコントロール整流器）、整流子モーター、蛍光灯、高周波発振器など動作中にノイズを発生するものは多種類に渡っている。また、時には雷放電ノイズも発生する。これらのノイズは、自然界の現象である雷ノイズを除いてある目的遂行のために生ずる副作用であって積極的な抑制策も施されぬまま過密化している。

このようにノイズの発生側と被害側が共存している現状におけるノイズ対策は、発生側で防止する方法が最も望ましいが、機構的に防止が困難な場合もあり、また機器故障時のノイズ発生などに対して被害側でも対策が必要とされる。しかし、従来からのノイズ対策は、障害が起きてから多分そうであろうと思われる原因を想定して処理されており、必ずしも適確な方法が見い出されず現場に携さわる研究者、技術者の頭を痛める原因となっていた。

この報告では、一般的に実験室で使用される電気機器から出るノイズの特性と伝播径路および測定回路系への影響について実験例にもとづき記述する。また、このことによってノイズ対策の手掛りが得られ、現在市販されているいくつかの対策装置について実際の使用状態での試験を行った結果と検討を記す。

なお、これらの結果は、昭和51年度着工の20MVタンデム加速器建家の電気設備設計にその一部が盛り込まれている。

2. ノイズの伝播径路と特性

放射線測定回路や電子計算機が受けるノイズ障害の大部分は、データにノイズ成分を含んだり誤動作を生ずることであり、しかも、回路素子が絶縁破壊などの故障を起すまでには至らず障害を受けた後は再び正常動作に復元し、顕著な症状として現われない場合が多い。また、この現象は、瞬間的であったり時間的に不規則であるため原因の究明が困難である。しかし、ノイズ障害防止は、まずノイズ発生側と被害側間の伝播径路およびノイズの特性を知ることから始めなければならない。

1. ま え が き

最近、半導体素子の発展、普及により原子力研究施設における放射線測定回路やそのデータ収集・処理用電子計算機および実験装置制御用電子回路などには多くの半導体素子が用いられている。これらの回路類に使用される半導体素子は、高インピーダンス部分を含み集積化が著しく、高速・微弱信号によって信号の授受が行われている。したがって、回路外から来る電氣的ノイズ（以下ノイズと記す）に対して敏感であり誤動作防止のための十分な対策が必要とされる。

一方、重機械、工具、実験装置などの電動化に伴いノイズも非常に増加しており、例えばリレー、SCR（シリコンコントロール整流器）、整流子モーター、蛍光灯、高周波発振器など動作中にノイズを発生するものは多種類に渡っている。また、時には雷放電ノイズも発生する。これらのノイズは、自然界の現象である雷ノイズを除いてある目的遂行のために生ずる副作用であって積極的な抑制策も施されぬまま過密化している。

このようにノイズの発生側と被害側が共存している現状におけるノイズ対策は、発生側で防止する方法が最も望ましいが、機構的に防止が困難な場合もあり、また機器故障時のノイズ発生などに対して被害側でも対策が必要とされる。しかし、従来からのノイズ対策は、障害が起きてから多分そうであろうと思われる原因を想定して処理されており、必ずしも適確な方法が見い出されず現場に携さわる研究者、技術者の頭を痛める原因となっていた。

この報告では、一般的に実験室で使用される電気機器から出るノイズの特性と伝播径路および測定回路系への影響について実験例にもとづき記述する。また、このことによってノイズ対策の手掛りが得られ、現在市販されているいくつかの対策装置について実際の使用状態での試験を行った結果と検討を記す。

なお、これらの結果は、昭和51年度着工の20MVタンデム加速器建家の電気設備設計にその一部が盛り込まれている。

2. ノイズの伝播径路と特性

放射線測定回路や電子計算機が受けるノイズ障害の大部分は、データにノイズ成分を含んだり誤動作を生ずることであり、しかも、回路素子が絶縁破壊などの故障を起すまでには至らず障害を受けた後は再び正常動作に復元し、顕著な症状として現われない場合が多い。また、この現象は、瞬間的であったり時間的に不規則であるため原因の究明が困難である。しかし、ノイズ障害防止は、まずノイズ発生側と被害側との間の伝播径路およびノイズの特性を知ることから始めなければならない。

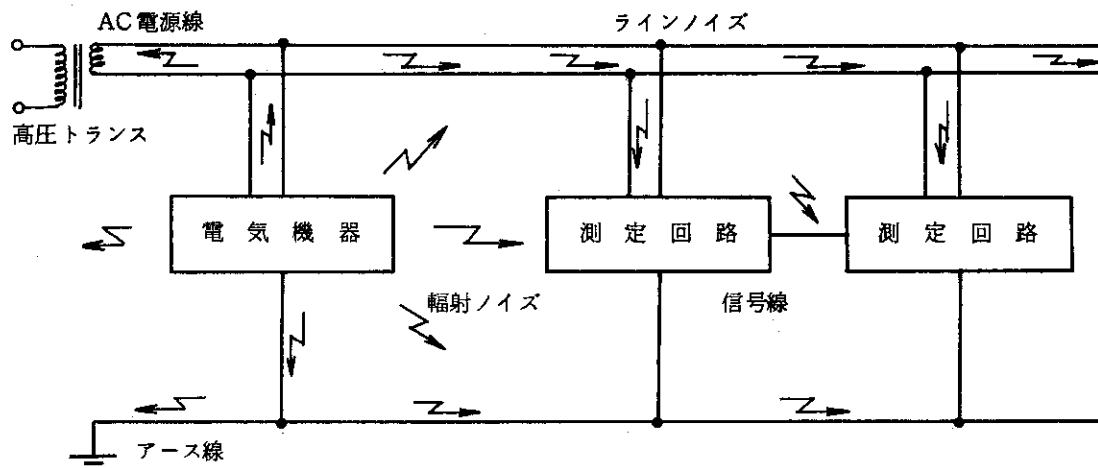
2.1 ノイズの伝播径路

実験室におけるノイズの伝播径路は、第1図に示すようにラインノイズと輻射ノイズの2系統がある。

1) ラインノイズ（導体を伝播するノイズ）は、主に電気機器の動作中に発生したノイズが電源線、信号線、アース線を電圧・電流波動として伝播する。

2) 輻射ノイズ（ノイズ発生源から直接空間を伝播するノイズ）は、放電や発振を伴う電気機器や雷放電などに起因し電磁界、静電界を伝播する。

しかし、現実には両者の干渉、すなわち、ラインノイズが空間に輻射して輻射ノイズとなり、輻射ノイズが導線に誘導してラインノイズと成り得るので伝播径路を明確に区別することは難しい。このことは、被害側回路の設置される室内外の電気的環境と関連するのでその実体がつかみにくく、ノイズ対策の難しさの原因となっている。



第1図 ノイズの伝播径路

2.2 ラインノイズの特性

ノイズの被害側となる回路に接続される配線には、電源線、信号線、アース線がありラインノイズはこれらを媒体として伝播する。特にAC電源線は、電気機器類にも接続され電力を共有するためそれらが動作中に発生するノイズが伝播し易いものと考えられる。また、アース線についても同様なことが言えるがAC電源線と比較しインピダンスが小さく直接的なノイズ結合とならないものと思われる。一方、信号線は、直接電気機器に接続されることは少なくそのラインノイズは輻射ノイズの誘導や電源ラインノイズの回り込みなど間接的なもので前二者の伝播径路とは本質的に異っている。

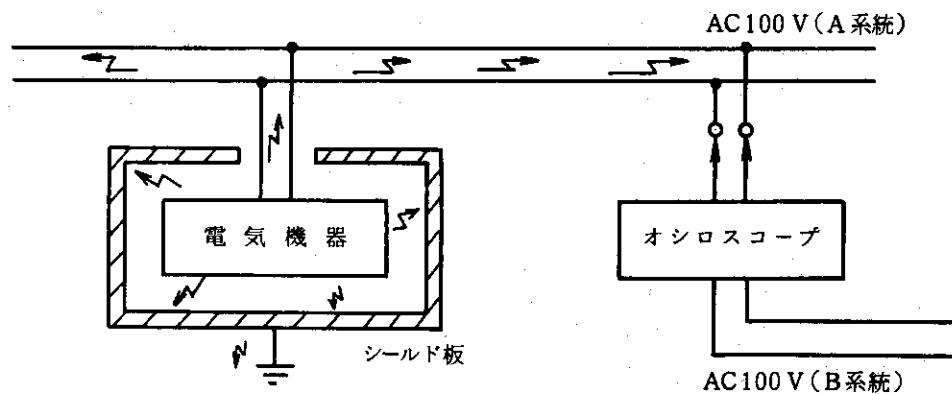
したがって、ラインノイズで最も注意を要するのは、AC電源線を伝播するノイズ（ACラインノイズ）である。

2.2.1 ACラインノイズの波形

ACラインノイズによって障害が起きる場合には、必ずAC電源線にAC基本波の他にノイズ波も存在するはずである。AC基本波およびノイズ波の測定は、第2図に示すようにノイズ発生源からの直接の輻射ノイズをアースされたシールド板で抑制しAC電源線(A系統)の2線間をオシロスコープで観測する方法で行った。測定に当たって考慮したことは、オシロスコープのAC電源を他系統(ノイズがより少ない系統(B系統))から供給しオシロスコープへのAC電源を通してのノイズの回り込みを防止したこと、および測定点とノイズ源の距離を5m以上離し輻射ノイズの影響を少なくしたことである。

いくつかのノイズ発生源に対する観測記録写真を第3図に示す。これらの例の範囲ではACラインノイズの周波数は、約10kHz～100MHzにおよび、中でも数MHz附近の成分が多く、ピーク電圧は200Vppにおよぶものがある。また、単独のノイズ発生源であってもACラインノイズは、周波数、電圧ともにいろいろな成分を含んでいることが観測できる。なお、ここに示したノイズ発生源の例(雷放電ノイズ(e)は除く)は、比較的小さな動作電力であるが、より大容量の負荷の場合には大きなノイズの発生が予想される。リレーの開閉サージ電圧が1000Vを越えたり、変電所における雷サージ電圧が数1000Vに達する場合があるとの報告^{1,2)}もある。

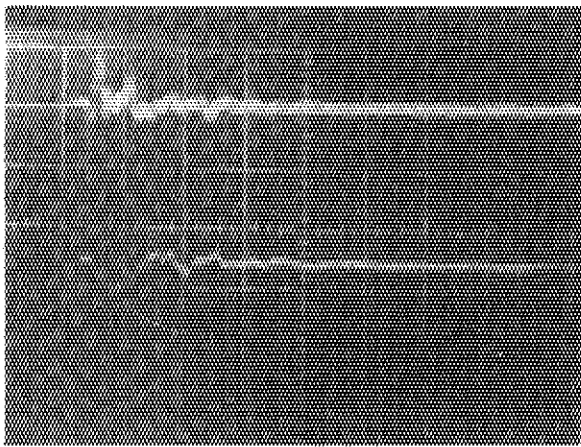
以上の結果から一般に使用されている電気機器が発生するノイズは、AC電源線に容易に侵入し、被害側回路の信号電圧(数V以下)と比較してその値が大きいこと、測定回路系における信号周波数帯を含むことなどノイズ障害の大きな要因に成り得ると言える。



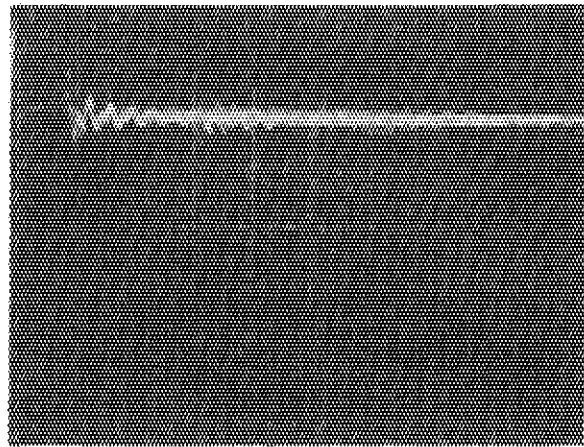
第2図 ACラインノイズの測定方法

2.2.2 ACラインノイズの伝播範囲

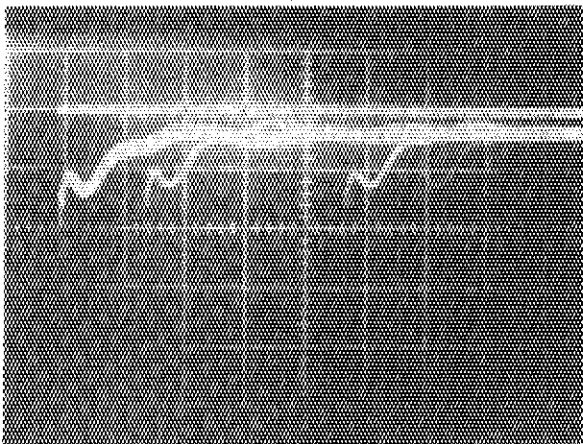
電気機器や実験装置などは、研究施設のいたる所で使用されているが、それらが発生するノイズのすべてによって被害側回路系が障害を受ける訳ではないのでノイズの伝播範囲が問題となる。実験室で使用されるAC電源は、その建家の変電室に設置された高圧トランスで100Vや200Vに変圧され、並列配線で各分電盤から得られる。したがって、AC電源線に侵入したACラインノイズは、まず、高圧トランスの二次側を共通としている系統全般に渡って伝播するものと考えられる。第4図は、動作中のリレーやSCRのノイズ源に接続されたAC電源線(キャプタイヤケーブル)内のラインノイズ電圧をノイズ源からの電線長さの異なる地点で測定した結果である。



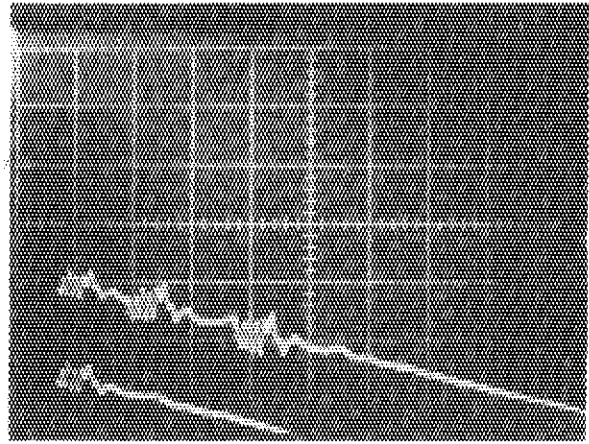
(a) 動作中のリレ→ (1.2 KW負荷)
↑100 V/div. ↔ 0.2 μs/div.



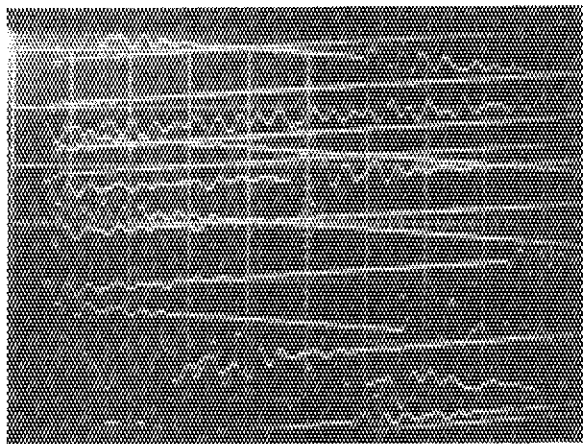
(b) インダクションコイル放電
↑100 V/div. ↔ 0.1 μs/div.



(c) 動作中のSCR (1.2 KW負荷)
↑50 V/div. ↔ 50 μs/div.



(d) 蛍光灯点滅
↑2 V/div. ↔ 10 μs/div.



(e) 雷放電
↑2 V/div. ↔ 10 μs/div.

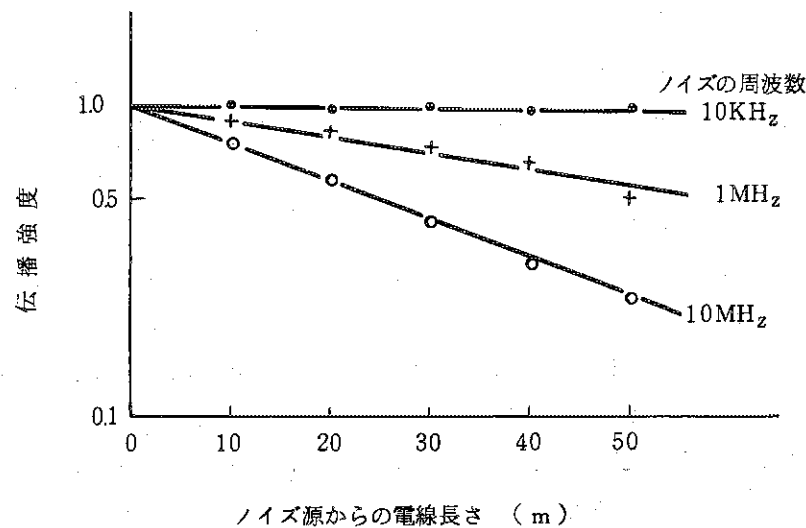
第3図

実験室に侵入するACライン
ノイズのオシロスコープ観測
例 (ただし, (d), (e)はコンデ
ンサを介して測定した。)

特性は、ノイズ発生源から遠ざかる程、周波数が高い程減衰が大きいことを示している。また、ノイズ波形は、ノイズ発生源からの距離が長くなる程なまりを生ずるのが観測され、これはAC電源線の高周波に対するインピーダンスの影響によるものと考えられる。この測定では、AC電源線にキャプタイヤケーブルを使用したのが既設の屋内配線の分電盤端子間で測定した結果（同じ電線長さ）と比較すること屋内配線の減衰量は約半分であった。この差は、屋内配線に使用されるビニール絶縁電線の方が構造的にインピーダンスが小さいことによるものと考えられる。また、現実には、同一電源系統の配電線に接続される負荷の使用状態が変化し、負荷が多くなる程バイパス回路ができるのでノイズ減衰が大きくなる方向に影響を受けるものと思われる。

次にACラインノイズが高圧トランスの一次側を介して他の二次側系統に伝播するかどうかを調べた。二次側の一つの系統にSCR動作時のACラインノイズを入れ同一建家内の他の二次側および隣接する他の建家の二次側を観測したが、この例ではSCRによるACラインノイズ成分は測定限界（0.5Vpp）以下であった。理由としては、ACラインノイズの配線での伝播の減衰や高圧トランスの構造によるノイズの減衰（巻線のインピーダンス、アースとの静電結合など）が考えられる。

これらのことからACラインノイズの伝播範囲は、ノイズ源で発生するノイズの大きさや周波数およびAC電源回路のインピーダンスによって決められ、測定回路系に対して障害となる範囲は限定される。



第4図 ACラインノイズの伝播の減衰特性
(キャプタイヤケーブルの場合)

2.3 輻射ノイズの特性

携帯ラジオが雷雲の接近により雑音を発することは、その原因が雷放電時に発生する電磁波であることが知られている。このことは、電気機器のうち動作時に放電や発振を伴うものでも同様であり、また、通信電波とも本質的に同じもので常に空間の至る処に存在し周波数、伝播範囲ともに広い領域を有しているものと思われる。

しかし、現実の問題は、測定回路類が輻射ノイズによってどのような障害を受けるかであり、このことは被害側回路の状態と密接に関連している。したがって、第3章で測定回路系に現われる輻射ノイズの影響について具体例に従って記述することとする。

3. 測定回路系が受けるノイズの影響

今日の放射線測定回路は、検出部では半導体や光電子増倍管などが用いられ、これらの後段に接続される増幅、測定部ではNIM規格モジュール構成が一般化し、信号は数V以下で扱われ、高インピーダンスを含む部分もある。また、CAMAC規格モジュールや測定回路に直結した電子計算機の導入が進んでおり、いずれも高速、微弱な信号でデータ伝達が行われている。これらの回路が受けるノイズの影響は、それぞれの回路固有のノイズ感度やノイズの特性などによって異った形で現われるので一概に言い表わすことはできないが、この報告では主にNIM規格モジュールを対象として行った測定結果を記述することとする。

3.1 電源系に侵入するACラインノイズによる影響

電子回路の電源部は、ほとんどの場合AC 100Vまたは115Vを回路内のトランスで降圧し、整流回路、電圧安定回路を径て定電圧DC電力として供給している。この一連の過程でACラインノイズは、DC側に伝播する可能性がある。なぜなら、トランスは磁気結合の他に静電結合を有しノイズの伝播が行われること、整流回路・電圧安定回路は比較的低い周波数成分についての整流・安定化が行われ高周波成分に適應されないことがあげられる。定電圧電源の出力インピーダンスは、第5図に示すようにある周波数から急激に増加する。この現象は、電圧安定回路のフィードバック部の周波数特性によるものとされ高い周波数まで出力インピーダンスを低くおさえる電源特性とすると電源自体が発振を生ずるので低インピーダンスの範囲が限定されることにもとづいている。例えば、NIM規格のビン電源では、DC～100KHzにおいて出力インピーダンス0.3Ω以下と規定され、この範囲では非常に低インピーダンスでノイズの影響を受けにくい、それ以上ではインピーダンスが増大しノイズ障害を受け易くなる。ACラインノイズは、第3図の写真例では数MHz附近の成分が多く出力インピーダンスの高い領域に当たっているので、電源系を通してノイズの伝播が行われることとなる。

第6図は、ACラインノイズの混入しているAC 100Vから給電されるビン電源+24Vに現われたノイズの例である。同図(a)は、SCRのスイッチングノイズ(ACラインノイズで100Vpp, ~1MHz)による影響が12mVpp生じている。また、同図(b)は、リレー動作時のノイズ(ACラインノイズで40Vpp, ~20MHz)による影響が400mVpp生じている。これらの結果から、ACラインノイズはDC電源系に伝播し、周波数の高いノイズ程その影響が大きく現われることがわかる。

このようなノイズがDC電源系に生じた場合、測定回路系の信号波形がどのような影響を受けるかは実際上大切な問題である。第7図は、放射線測定回路系の代表的な構成例であり、ノイズ

しかし、現実の問題は、測定回路類が輻射ノイズによってどのような障害を受けるかであり、このことは被害側回路の状態と密接に関連している。したがって、第3章で測定回路系に現われる輻射ノイズの影響について具体例に従って記述することとする。

3. 測定回路系が受けるノイズの影響

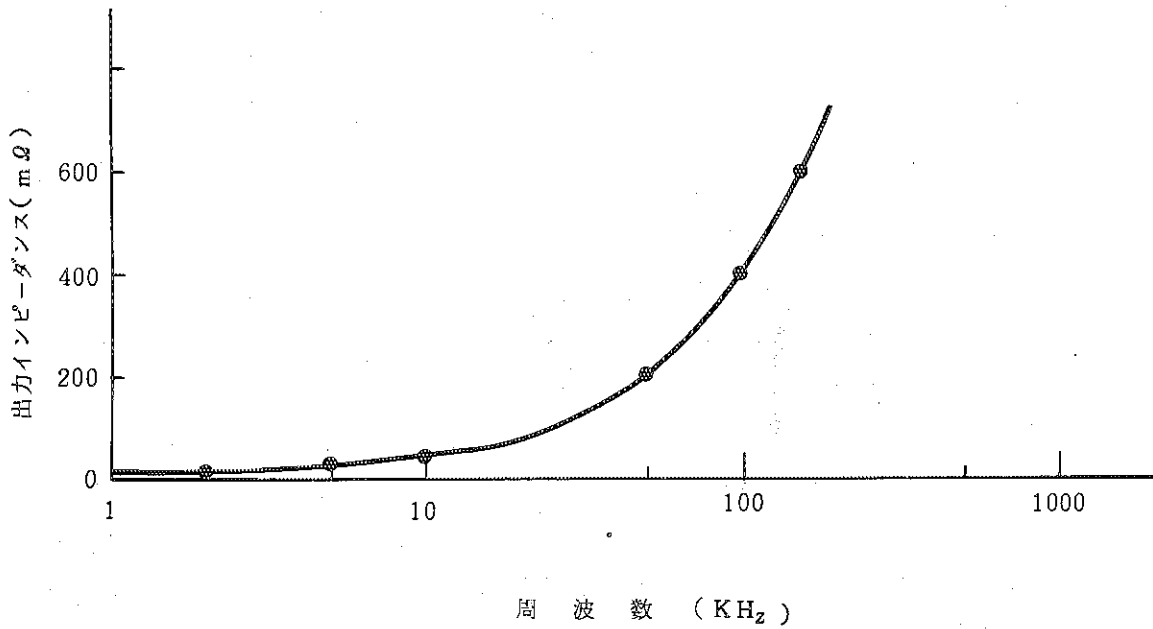
今日の放射線測定回路は、検出部では半導体や光電子増倍管などが用いられ、これらの後段に接続される増幅、測定部ではNIM規格モジュール構成が一般化し、信号は数V以下で扱われ、高インピーダンスを含む部分もある。また、CAMAC規格モジュールや測定回路に直結した電子計算機の導入が進んでおり、いずれも高速、微弱な信号でデータ伝達が行われている。これらの回路が受けるノイズの影響は、それぞれの回路固有のノイズ感度やノイズの特性などによって異った形で現われるので一概に言い表わすことはできないが、この報告では主にNIM規格モジュールを対象として行った測定結果を記述することとする。

3.1 電源系に侵入するACラインノイズによる影響

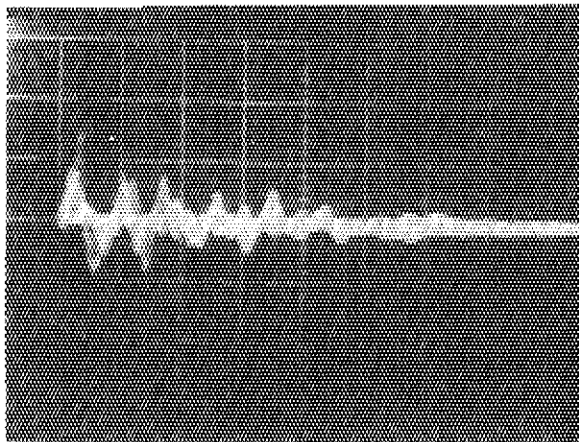
電子回路の電源部は、ほとんどの場合AC 100Vまたは115Vを回路内のトランスで降圧し、整流回路、電圧安定回路を径て定電圧DC電力として供給している。この一連の過程でACラインノイズは、DC側に伝播する可能性がある。なぜなら、トランスは磁気結合の他に静電結合を有しノイズの伝播が行われること、整流回路・電圧安定回路は比較的低い周波数成分についての整流・安定化が行われ高周波成分に適応されないことがあげられる。定電圧電源の出力インピーダンスは、第5図に示すようにある周波数から急激に増加する。この現象は、電圧安定回路のフィードバック部の周波数特性によるものとされ高い周波数まで出力インピーダンスを低くおさえる電源特性とすると電源自体が発振を生ずるので低インピーダンスの範囲が限定されることにもとづいている。例えば、NIM規格のピン電源では、DC～100KHzにおいて出力インピーダンス0.3Ω以下と規定され、この範囲では非常に低インピーダンスでノイズの影響を受けにくい、それ以上ではインピーダンスが増大しノイズ障害を受け易くなる。ACラインノイズは、第3図の写真例では数MHz附近の成分が多く出力インピーダンスの高い領域に当たっているので、電源系を通してノイズの伝播が行われることとなる。

第6図は、ACラインノイズの混入しているAC 100Vから給電されるピン電源+24Vに現われたノイズの例である。同図(a)は、SCRのスイッチングノイズ(ACラインノイズで100Vpp, ~1MHz)による影響が12mVpp生じている。また、同図(b)は、リレー動作時のノイズ(ACラインノイズで40Vpp, ~20MHz)による影響が400mVpp生じている。これらの結果から、ACラインノイズはDC電源系に伝播し、周波数の高いノイズ程その影響が大きく現われることがわかる。

このようなノイズがDC電源系に生じた場合、測定回路系の信号波形がどのような影響を受けるかは実際上大切な問題である。第7図は、放射線測定回路系の代表的な構成例であり、ノイズ

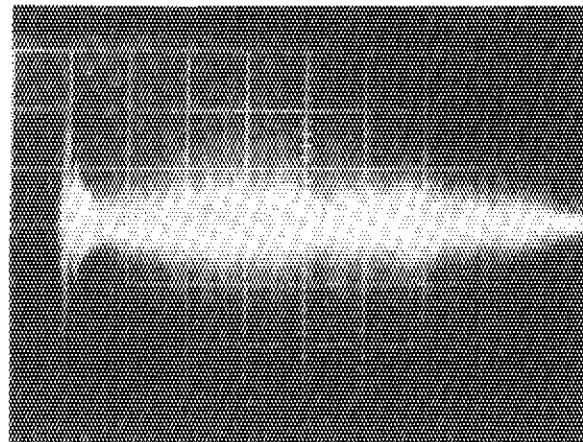


第5図 DC安定化電源の出力インピーダンス特性



↑ 5 mV / div. → 1 μs / div.

(a) ビン電源 + 24 V に侵入した
SCR ノイズ: 12 mV_{PP} (この
時の AC ラインノイズは 100
V_{PP}, ~ 1 MHz)



↑ 100 mV / div. → 1 μs / div.

(b) ビン電源 + 24 V に侵入した
リレーノイズ: 400 mV_{PP} (この
時の AC ラインノイズは 40 V_{PP},
~ 20 MHz)

第6図 ACラインノイズの混入したAC 100 V電源から
給電されたNIM規格モジュール・ビン電源に観
測されるノイズ

の影響を最も受ける部分は信号レベルの小さい検出器から主増幅器の間であると思われる。第8図は、この例として回路をNIM規格モジュールで構成した場合の主増幅器の出力波形で、(a)はSCRノイズ(第6図(a)の電源使用)、(b)はリレーノイズ(第6図(b)の電源使用)の影響が現われたものである。(a)の例では、ノイズ電圧が回路自体のノイズレベルより数倍大きく、周波数では電源ノイズとほぼ同じになっている。しかし、この影響は、前置増幅器と主増幅器の間に接続された信号線と電源線が同一のビニール管に通線されていることによる電線相互の誘導により生じたものであることがわかった。このことは、信号線と電源線を分離することによって防止でき、また、信号線のシールドを強化することで抑制できることが確認され、この場合には、電源ノイズが測定回路内の素子を通して信号系に障害を与えるまでに至っていない。(b)の例では、ノイズ電圧が回路自体のノイズレベルの約10倍に達し、周波数では電源ノイズの~100 MHzに対して数MHz帯に変形されて現われている。これは、増幅器内の回路構成、素子の高周波特性、信号に対する整形作用によるものと考えられ、DC電源系のノイズが回路内で抵抗やトランジスタなどの素子を通して信号系に直接的に障害を与えているものと考えられる。

これらの例を一般的な検出器の信号波形と比較すると、電圧では信号の有効範囲内に含まれる可能性があり、パルス幅も信号波形と同様となる可能性がある。

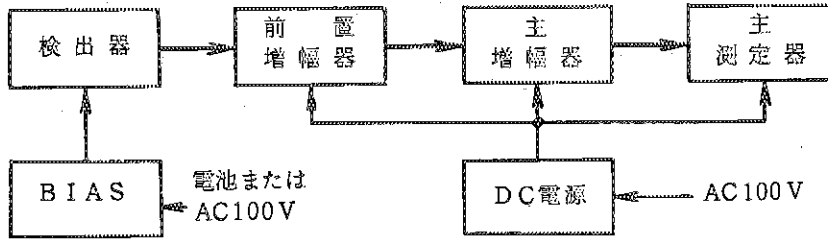
したがって、AC-DC電源系を伝播するノイズは、測定回路系の信号に対してノイズ障害となる大きな要因であることが判明した。

3.2 ノイズ源からの直接輻射ノイズによる影響

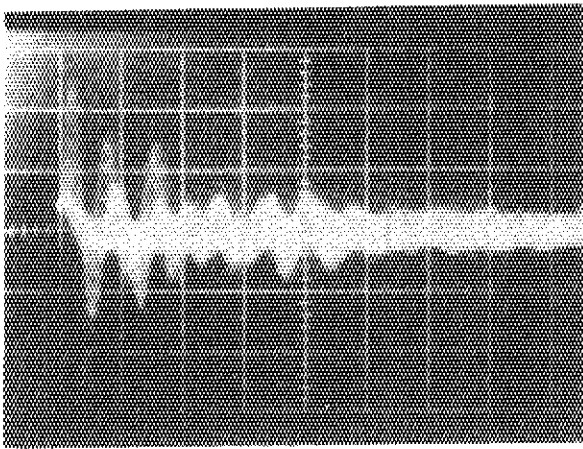
測定回路系が受けるノイズ源からの直接的な輻射ノイズの影響は、ノイズの周波数、回路インピーダンスに比例すると言われ³⁾、また、双方の接近の度合いによっても異なるものと考えられる。そこで、輻射ノイズによる影響の測定は、第7図に示したNIM規格モジュールで構成した放射線測定回路系に動作中のリレーを接近させ信号に現われるノイズ成分を観測する方法で行った。測定に当たって考慮したことは、放射線測定回路系のAC電源にリレーのACラインノイズがACラインを伝播して侵入しないように後述する障害波遮断トランスによりACラインノイズ除去を行ったことである。第9図は、ノイズ源-放射線測定回路系間の距離と放射線測定回路系の+24V電源で観測された誘導ノイズ電圧の関係を表わした例で、距離2mの範囲では誘導ノイズ電圧と距離がほぼ反比例し、それ以上の距離では誘導ノイズ電圧がゆるやかに減衰することを示している。この特性は、2m位の近距離では静電結合が生じ、それ以上の距離では電磁結合や実験室固有の電氣的環境による影響が生じることを示したものである。

第10図は、距離2mの位置で観測したノイズ波形で(a)はピン電源+24V、(b)は主増幅器の出力波形である。これらをACラインノイズによる影響の場合(第6図(b)、第8図(b))と比較すると、ノイズ電圧は共に1/10以下を示し、周波数ではより速い成分(数10MHz)が多くなっている。

これらのことから、一般的な放射線測定回路が受ける輻射ノイズの影響は、ノイズ発生源と接触するぐらいに接近している場合にACラインノイズと同等な影響が現われるが、ノイズ源との距離が2m以上となるとACラインノイズの方が10倍以上大きくなると言える。なお、第9図の

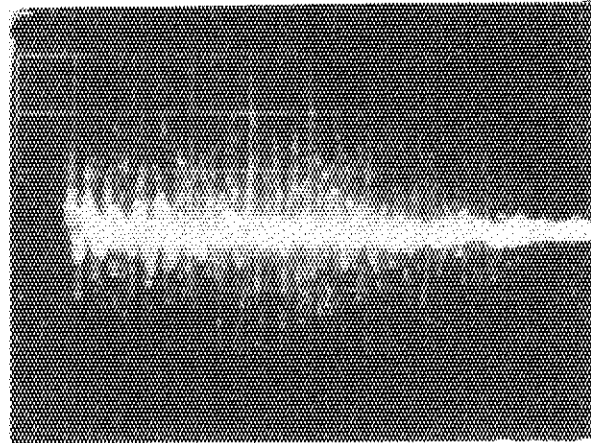


第7図 一般的な放射線測定回路系の構成図



↓ 5 mV/div., → 1 μs/div.

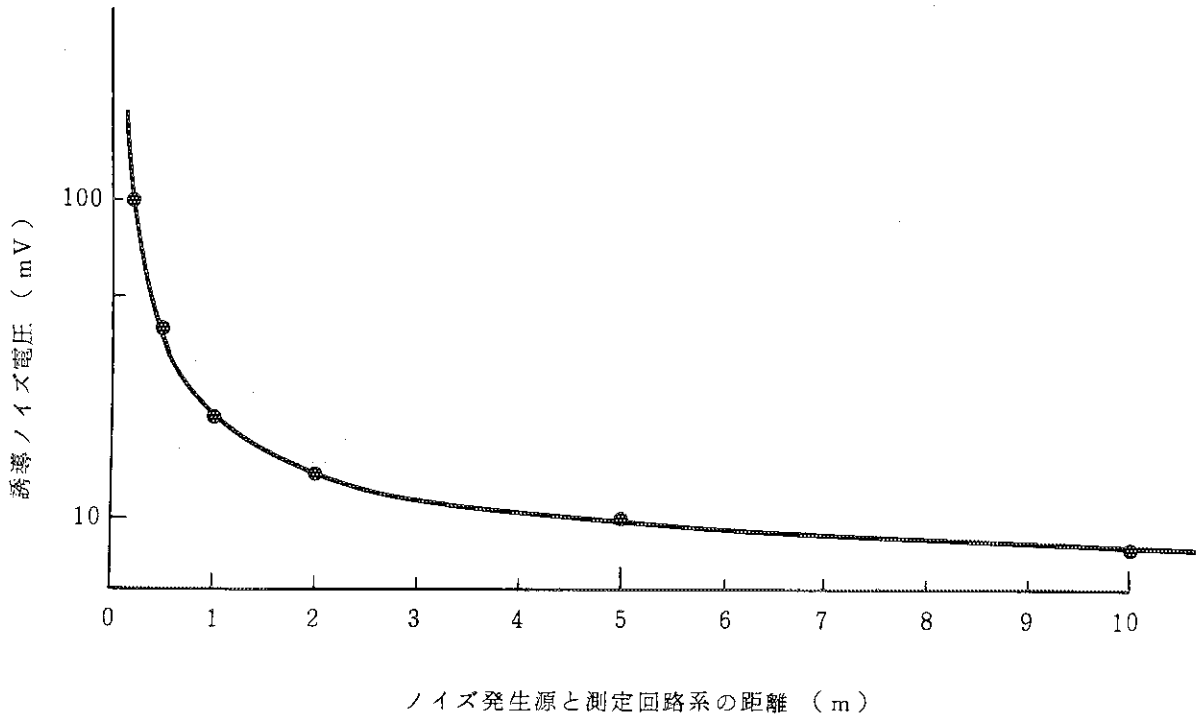
- (a) 主増幅器出力で観測された
SCRノイズ: 25 mV_{PP}
回路自体のノイズ: 5 mV_{PP}
(この時のACラインノイズは 100
V_{PP}, ~ 1 MHz)



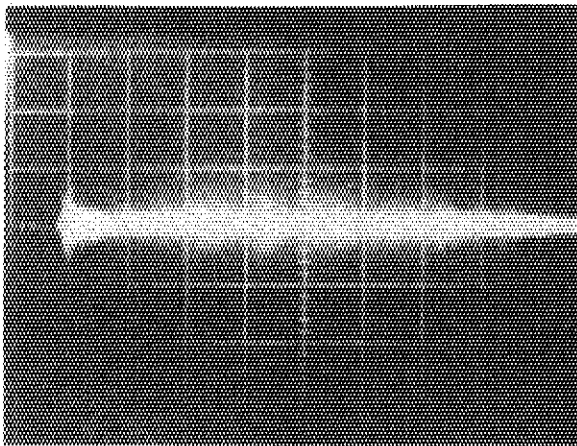
↓ 20 mV/div., → 1 μs/div.

- (b) 主増幅器出力で観測された
リレーノイズ: 100 mV_{PP}
回路自体のノイズ: 10 mV_{PP}
(この時のACラインノイズは 40
V_{PP}, ~ 20 MHz)

第8図 ノイズの侵入したNIM規格モジュール・ビン電源を使用した場合(第6図)の測定回路系の信号への影響(写真中央の白い部分は回路自体のノイズ)

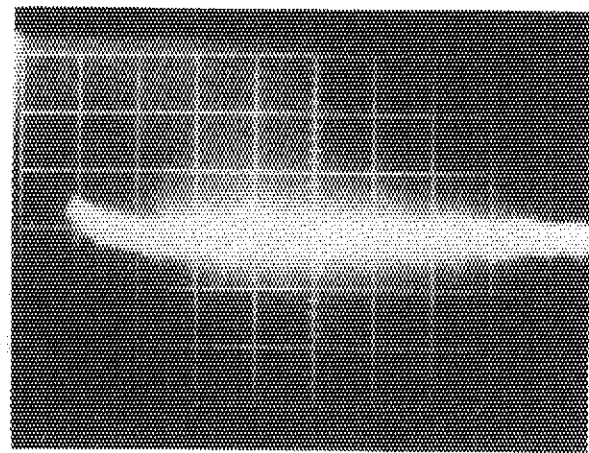


第9図 輻射ノイズによって測定回路系が受ける誘導ノイズ電圧とノイズ発生源との距離の関係



↑ 10 mV/div., ← 1 μs/div.

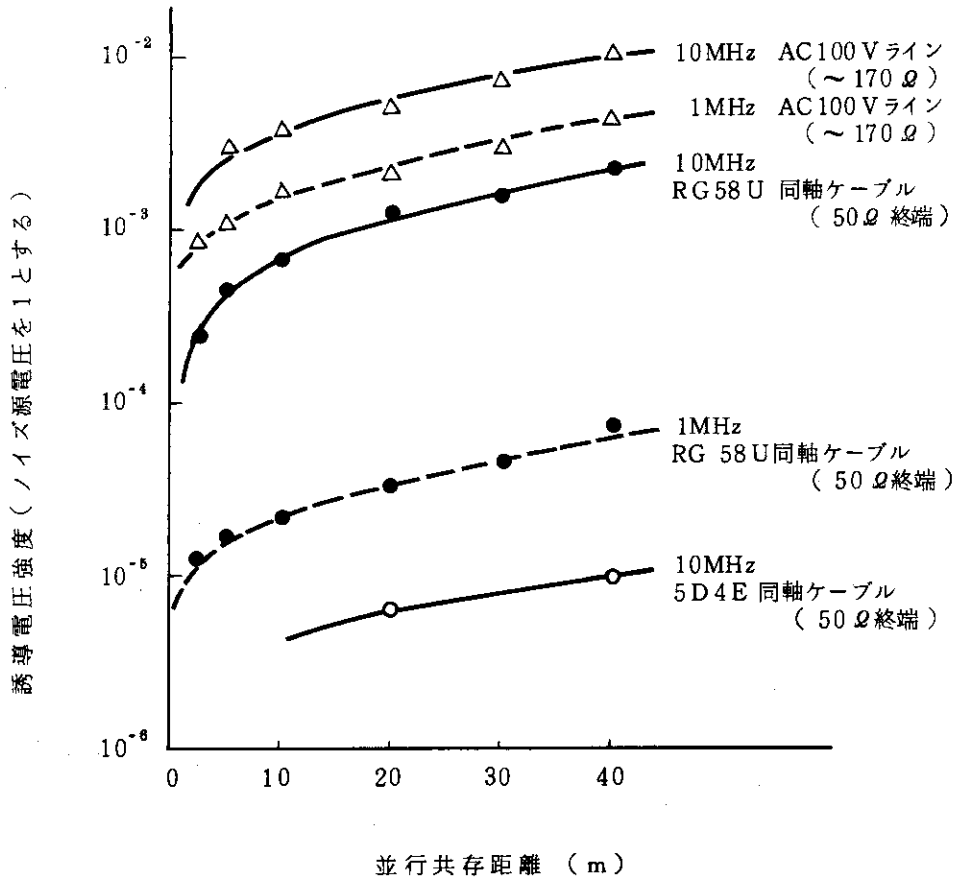
(a) ビン電源 + 24 V に観測された
リレー輻射ノイズ: 20 mV_{PP}



↑ 10 mV/div., ← 1 μs/div.

(b) 主増幅器出力で観測された
リレー輻射ノイズ: 10 mV_{PP}

第10図 輻射ノイズ源の接近 (2 m) によりNIM規格モジュール・ビン電源と主増幅器出力に観測されるノイズ (写真中央の白い部分は回路自体のノイズ)



第11図 ノイズ入りAC100Vラインに並行共存する他系統の電線が受けるノイズ誘導と並行共存距離の関係

4. ノイズ対策

測定回路系のノイズ対策は、前章までの結果から特にACラインノイズやノイズ発生側と被害側が接近する場合に対して重点的に行う必要があることが判明し、ノイズ発生源、伝播径路、測定回路の各々の箇所で有効な方法としなければならない。以下に実験室におけるノイズ対策例とその効果について記述する。

4.1 ノイズ発生源での対策

ノイズ発生源でのノイズ発生防止は、現実にはノイズ発生装置（電気機器）が大電力負荷の場合が多く、発生源自体は何ら障害とならないため対策がとられない例が多い。しかし、発生源はノイズ障害の根源であるので、できるだけ処置が望まれる。その対策方法は、ノイズ発生機構に適合させる必要があり、不要ノイズを根本的に発生させない方法と定常動作時にノイズ発生を伴う場合にノイズを機器外に漏洩させない方法に別けられる。

4.1.1 不要ノイズを発生させない方法

(a) ゼロクロス・スイッチ方式 SSR（ソリッド・ステート・リレー）

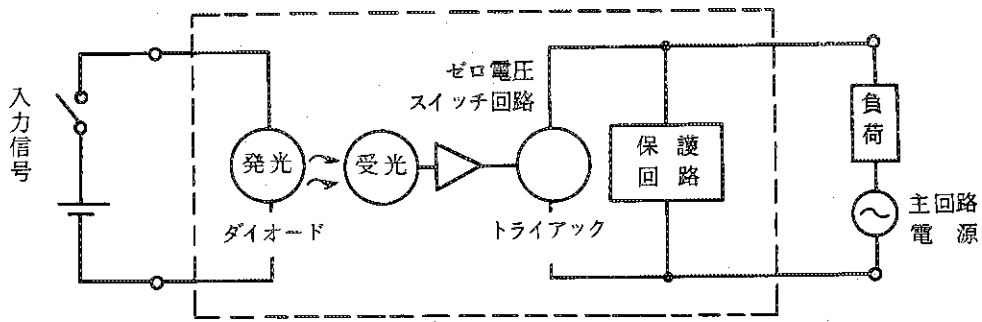
機械的リレーや手動スイッチによって制御される負荷では、その動作（ON-OFF）時にノイズを発生していることが第2章で確認された。しかし、これらに代るものが無いので、いくらかのノイズ発生を承知しながらも非常に多くの装置に使用されている現状にある。

なぜノイズが発生するかは、電圧が印加されている状態、あるいは電流が流れている状態において動作することに原因している。そこでノイズを発生させない方法として、AC波形の電圧または電流がゼロの時点で主回路をON-OFFするゼロクロス・スイッチ方式が開発されている。第12図は、ゼロクロス・スイッチ方式 SSR の回路構成の概略図で、第13図は外観である。動作は、DC数Vの入力信号をホトカップラで受け、ゼロ電圧スイッチ回路で主回路のトライアック（3極双方向性サイリスタ）を電圧ゼロ附近でONさせるものである。

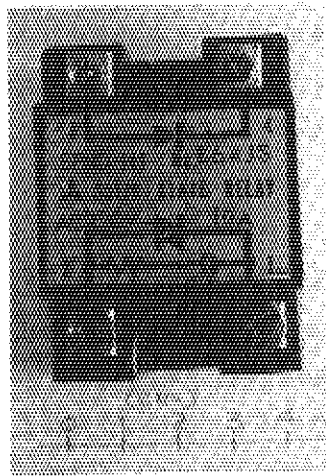
ノイズ発生防止について実装試験を1.2kW負荷のON-OFFで行った結果、機械的リレーと比較して約1/10のノイズ電圧が得られた。この値は、ノイズ発生源での対策として効果的である。また、小型で取扱いが容易であり、主回路電圧100V、200V、電流は数10Aまで製品化されており今後各種の電気機器に応用されることを期待したい。

(b) 火花消去回路

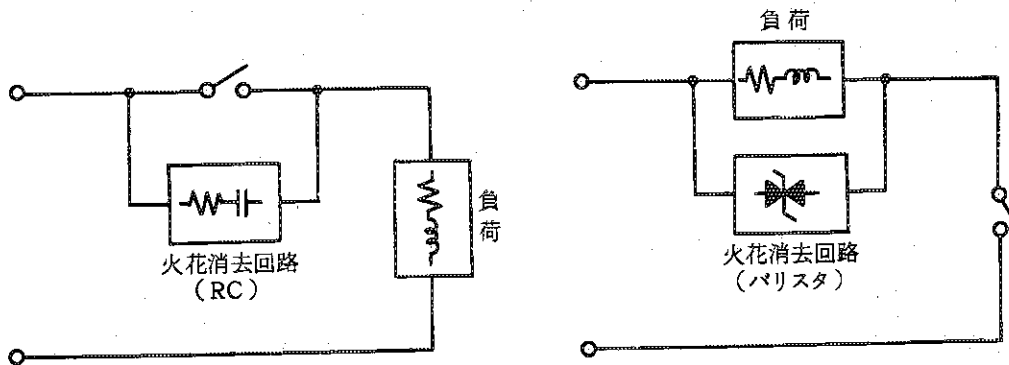
動作原理は、第14図に示すように主回路接点に並列または負荷に並列に接続することによって、接点開閉時に発生するゲージ電力を火花消去回路側に積極的に流し火花放電を減少させるものである。回路の構成素子は、抵抗とコンデンサーの組合せ、あるいはバリスタ（非直線抵抗：印加電圧が高くなる程低抵抗となる）が主である。抵抗とコンデンサーの組合せ型の火花消去回路をAC100V電源回路にリレーをノイズ源として接続して実装試験を行ったが、ノイズ除去



第12図 ゼロクロス・スイッチ方式 SSR の回路構成の概略図



第13図 ゼロクロス・スイッチ方式 SSR の外観



第14図 火花消去回路の例

効果はほとんど得られなかった。理由としては、素子の高周波インピーダンスが高いためサージ電流が流れなかったものと思われる。また、問題点として、主回路接点と並列接続とした場合、主回路がOFFの状態でも負荷が絶縁されないこと、バリスタの場合にはある電圧以上にならないと電流が流れにくく、比較的小さいノイズ除去はできないことがあげられる。

4.1.2 ノイズを漏洩させない方法

(a) 輻射ノイズの漏洩防止

定常動作状態において高電圧の発振や放電を生ずるノイズ発生源に対しては、導電性のよい金属板でシールドし電磁的ノイズ成分の漏洩を防止し、シールド体をアースすることで静電的ノイズ成分の漏洩を防止する必要がある。これは、装置を筐体内に収納しアースする方法で従来から最も多く行われており感電防止などの安全性の観点で必要とされるばかりでなくノイズ発生源での漏洩防止対策として重要である。

(b) ラインノイズの漏洩防止

上記(a)と同時にノイズ漏洩防止で重要なことは、ノイズ発生源に接続される配線類に対するラインノイズ伝播防止で、この対策を施さないとシールド効果は半減する。ACラインノイズは、絶対値が大きいので注意が必要とされ、ラインフィルター等で伝播防止を行わなければならないが、その対策に当たってはいくつかの問題点があり次節の伝播経路でのノイズ対策のところで記述する。

4.2 伝播経路でのノイズ対策

伝播経路での対策は、ノイズ発生源側でのノイズ防止が現状ではあまり期待できないことや電気機器類の故障による不慮のノイズ発生の可能性があることから必要とされ、その根本は伝播経路の途中に不要ノイズを除去する装置を設置することである。

4.2.1 輻射ノイズの伝播防止

輻射ノイズに対する対策は、4.1.2の輻射ノイズを漏洩させない場合と同様なシールド方法により伝播経路を遮断することである。信号が電線を通して伝播される回路では、輻射ノイズ成分はすべて有害であるので完全に除去することが望ましい。しかし、輻射ノイズの完全除去は容易ではないので、障害が起きない様なシールドとノイズ源との距離の考慮が必要である。

4.2.2 ACラインノイズの伝播防止

ラインノイズに対する対策は、不要な成分を除去し有効信号成分は原形のまま伝播させなければならず、単に伝播経路を遮断するわけにいかない点に困難さがある。ACラインノイズをどの程度まで抑制すべきかは個々の測定回路によって決められるものであるが、例えば第7図に示した放射線測定回路系の例では最大ACラインノイズ電圧は数Vpp以下におさえることが望ましい。

(a) LCラインフィルター

ACラインノイズの除去は、従来から主に第15図に示すようなLCラインフィルターが使用されてきた。ノイズ除去の原理は、基本波以外の高周波成分に対して高インピーダンスを示すコイルを主回路に直列に接続し出力側に伝播するノイズを減衰させ、低インピーダンスを示すコンデンサを主回路に並列に接続しバイパスによりノイズをノイズ発生源に帰したりアースにより大地へ逃がすものである。性能向上のために高周波特性の良いコイルやコンデンサが使われているが、ACラインノイズ防止器として必ずしも満足のいく効果が得られない例が多いようである。

そこで、実際にカタログ値が数100kHz～数MHzにおいてノイズ減衰比 $1/1000$ (静特性) とある製品についてSCRやリレーノイズで実装試験を行ったが、結果は $1/2$ の減衰比しか得られなかった。その理由として、次のことが考えられる。

- ① AC回路とのインピーダンス整合が必要とされ、実装試験においての整合はAC回路の負荷の使用状況に関係する。
- ② 実装試験において必ずしも良いアースが得られない。
- ③ 入力側と出力側が遮蔽されていないためノイズの乗り移りが生ずる。
- ④ コンデンサは、高周波(数MHz以上)においてインピーダンスが増加する。

したがって、単にLCラインフィルターをAC回路に挿入してもカタログ値のノイズ減衰比は期待できない。また、AC電源回路に漏電ブレーカーがあるとコンデンサを通して電流が流れブレーカーが動作する欠点がある。ただし、たとえノイズ減衰比が小さくともノイズ源に設置する場合は、ノイズの伝播範囲を小さくする点で有効であり、また、比較的小型であるので状況に合わせて使用すると良いと思われる。

(b) 障害波遮断トランス

トランスは、本来電磁誘導作用によって一次側の電力を二次側に伝達するもので、伝達効率を良くするために高透磁率のコア材料の使用や磁束漏洩を少なくするために重ね巻き方法がとられている。そのため、コイルは電磁結合と静電結合が生じ、基本波の他にノイズ波も伝達される結果となっている。

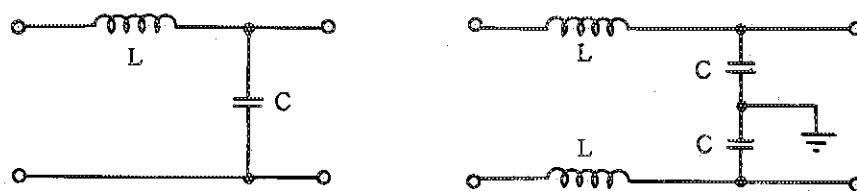
障害波遮断トランスは、磁気回路によってノイズ除去も行うもので第16図に示す構造を有し、最近開発されたものであり以下のことを設計の主な基準としている。

- (1) 一次と二次のコイルを離し空芯結合を少なくする。
- (2) コア材料に高周波成分を通しにくい材質を使用する。
- (3) 一次、二次コイル間を遮蔽し輻射ノイズの伝播を防止する。

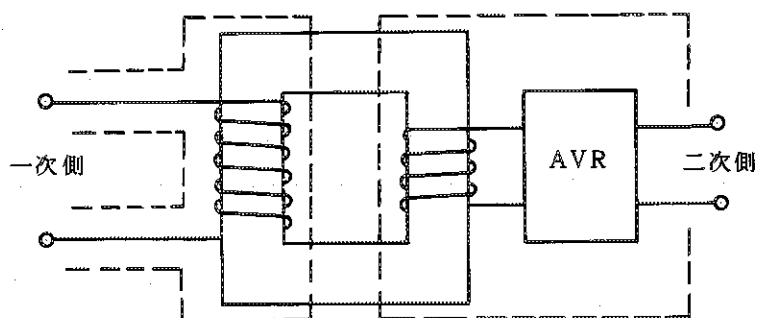
ノイズ除去の実装試験を第17図に外観を示す障害波遮断型交流自動定電圧装置2KVA(株式会社電研精機研究所製)で、SCRやリレーノイズを用いて測定した結果は、第18図に示すよう10kHz～1MHz帯で約 $1/2000$ (67dB)、10MHz附近で $1/100$ (40dB) のノイズ減衰比が得られた。この値は、実験室に侵入するACラインノイズ電圧から判断して満足のいくものと思われる。

また、特長としてアースの良し悪し、AC回路のインピーダンスや電流値によってノイズ減衰比がほとんど変化しないことがあげられる。

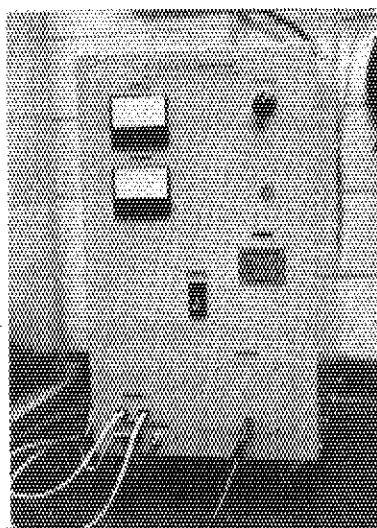
欠点としては、負荷電流の増加に伴う電圧降下、AC基本波周波数帯のノイズ除去ができない



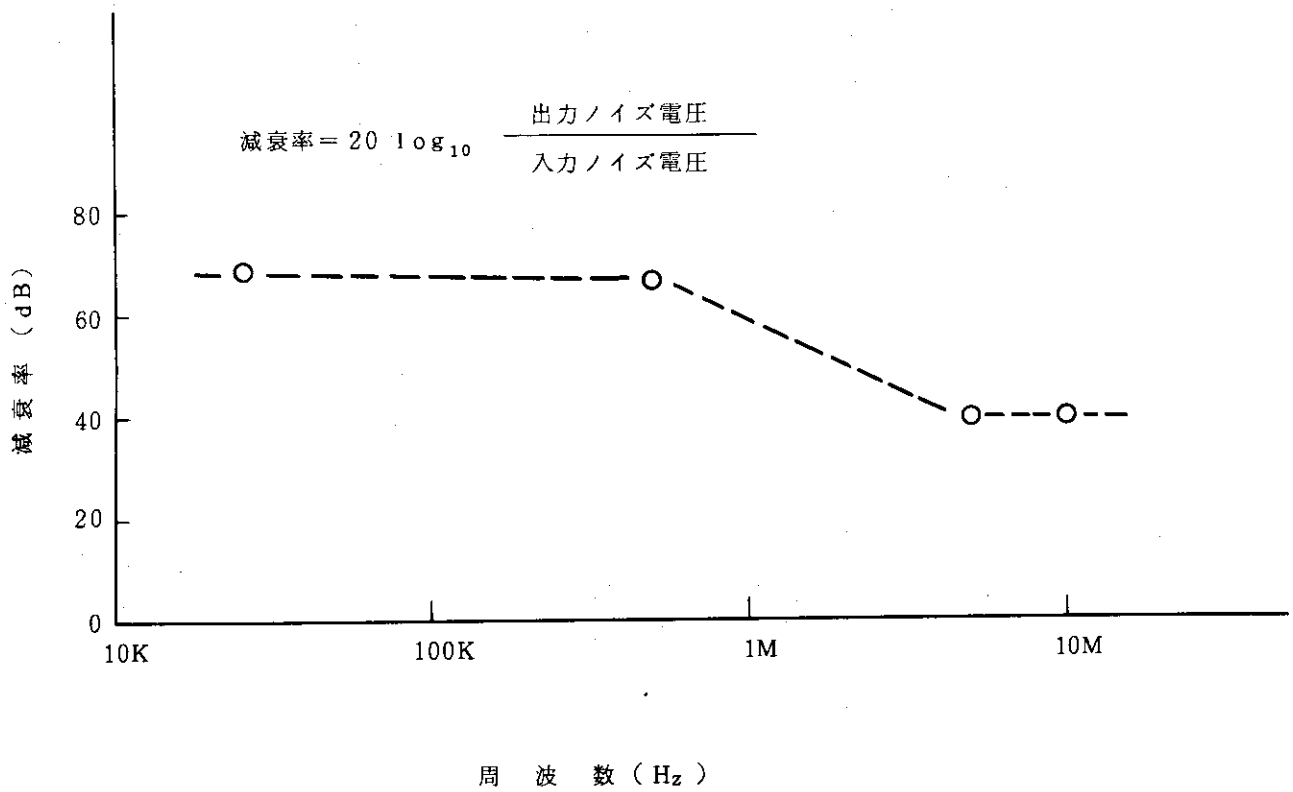
第15図 LCラインフィルタの例



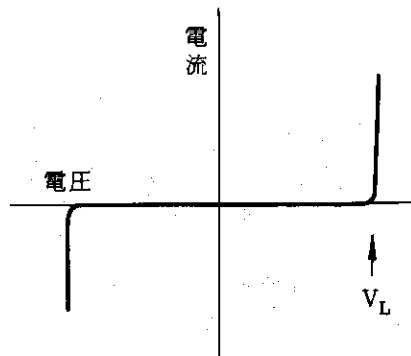
第16図 障害波遮断トランスの概略図
(ただし AVR はオプション)



第17図 障害波遮断型交流自動定電圧装置 2 KVAの外観



第 18 図 障害波遮断型交流自動定電圧装置 2 KVA の AC ラインノイズ減衰特性



第 19 図 アバランシェ形半導体の電圧-電流特性
 図中の V_L は制限電圧を示し、双方向ツェナーダイオードでは数 V ~ 数 10 V, SiC パリスタでは数 V ~ 数 100 V, ZnO サージアブソーバでは数 V ~ 約 100 KV の範囲を有している。

ことで、これらに対して AVR (自動定電圧装置) を付加してより安定な電源とする方法が採用されている。

これらのことから、障害波遮断トランスは実装試験において容易に良好なノイズ除去効果が得られ、現状では他の方法と比較し最も効果的であり、測定回路系のノイズ対策に適している。

(c) サージ・アブソーバ

サージ・アブソーバは、AC 回路とアース間または AC 回路の線間に接続し、ノイズ電力を大地に逃す働きをするもので、種類および動作原理などを以下に示す。

(1) 放電管 (アレスタ) : 冷陰極放電作用により異常電圧を大地に逃すもので、放電開始電圧は電極の状態で決められるが通常 DC 数 10 V から DC 2000 V のものが作られている。しかし、立上りの速い電圧を印加した場合には放電遅れを生ずるとされる²⁾ので、高周波ノイズ (～ MHz) では DC 放電開始電圧よりも電圧の高い成分が電線路に残ることになる。

(2) アバランシェ形半導体 (ツェナーダイオード, SiC バリスタ, ZnO サージアブソーバ) : 第 19 図のように電圧-電流非直線特性を示す素子を用いて、有効信号電圧以上の異常成分を大地に逃す。

これらのサージ・アブソーバに共通することは、ある電圧以上にならないと動作しないので、その動作点を有効信号電圧よりやや高くとっておく必要がある。したがって、ノイズ除去効果は、有効信号電圧 (最大値) の百数十%以上の電圧で効果的であるが、それ以下では効果を示さないため、例えば AC 100 V 電源の数 10 V のノイズは除去できず測定回路系に対して必ずしも効果的な対策ではない。

4.3 測定回路系でのノイズ対策

現在一般に使用されている測定回路を対象とした場合のノイズ対策は、以下に示す方法がある。

(a) 信号にノイズを侵入させない方法

- (1) AC 電源からのノイズの回り込みを防止する。
- (2) ノイズ発生源と測定回路系の距離を離す。
- (3) シールドの強化 (特にノイズ源と測定回路が接近する場合や測定回路のインピーダンスが高い場合)

(b) 信号に侵入したノイズの除去および信号を抽出する方法

- (1) フィルターの使用
- (2) ツイストペア線の使用。⁴⁾
- (3) 同相除去回路の使用。
- (4) 振幅またはパルス幅による波形弁別回路の使用。⁵⁾
- (5) 光結合素子や光ファイバーなどによる信号伝送方式の採用。

これらは、測定回路の構成や電気的環境条件に適合させて行くと効果的であると思われ、(a) は前節までの結果であり (b) は他の文献などを参照して頂くこととし、ここでは列挙にとどめる。

5. ノイズ対策のまとめ

従来からのノイズ対策は、測定回路系でシールドを主体として行われる傾向にあった。しかし、第3章の結果からACラインノイズ対策の必要性が確認され、今まで無視されがちであったこの方面の対策を行うことでかなりのノイズ障害が防止できるものと思われる。今回、ノイズ除去特性試験を行った結果から効果的で画一的な方法をあげると次のようになる。

- (1) ノイズ発生源での対策：アースされたシールド，ゼロクロス・スイッチ方式SSRの使用。
- (2) 伝播径路での対策：障害波遮断トランスの使用，高圧トランスの負荷別の系統わけ。

しかし、現時点でのノイズ対策は、一つで完全と言えるものは無く、また、一手段だけ完ぺきであってもそれ以外からの影響についても考慮が必要であり上記の例を主体として従来からの方法を併用し総合的な対策とすべきであると考え。

タンデム加速器建家では、以上の結果を考慮しノイズ対策として次の方法を採用している。

- (1) 測定回路，電子計算機などの電子回路用のAC電源は，各装置別または用途別に分けた障害波遮断トランスを通してAC電源ノイズ対策を行っている。(4.2.2 (b)参照)
- (2) 大電力機器，電子回路など負荷別に系統分けした高圧トランスを設置しAC電源ノイズ対策を行っている。(2.2.2参照)
- (3) 各種の実験装置・回路の信号を伝送するターゲット室と制御室間の信号ケーブルは，パイプ状の二重シールド構造とし輻射ノイズ対策を行っている。(3.3参照)
- (4) アースは，測定回路用，電子計算機用，加速器タンク用，実験分電盤用など夫々専用のアース極を設置している。

6. あとがき

この報告の結果は，すべての場所・条件に適合することは考えないが，測定を行ったVdG加速器建家と同様な実験室において有効なデータであると思われる。

なお，この報告の測定では，アースを一般分電盤から得ておりそれ以外の方法，例えば測定回路専用アースを使用する方法などに立ち入らなかったが，その理由としてアース以外の要因によってより大きなノイズ障害が生じている場合にアース回路の影響の実体がつかみにくいことがあげられ，今後この報告と合せて検討を進めていく所存である。また，タンデム加速器建家竣工後においては，加速器および加速器関連装置，実験装置，AC電源回路，アース回路など総合的なノイズ試験を試みる予定である。

5. ノイズ対策のまとめ

従来からのノイズ対策は、測定回路系でシールドを主体として行われる傾向にあった。しかし、第3章の結果からACラインノイズ対策の必要性が確認され、今まで無視されがちであったこの方面の対策を行うことでかなりのノイズ障害が防止できるものと思われる。今回、ノイズ除去特性試験を行った結果から効果的で画一的な方法をあげると次のようになる。

- (1) ノイズ発生源での対策：アースされたシールド，ゼロクロス・スイッチ方式SSRの使用。
- (2) 伝播径路での対策：障害波遮断トランスの使用，高圧トランスの負荷別の系統わけ。

しかし、現時点でのノイズ対策は、一つで完全と言えるものは無く、また、一手段だけ完ぺきであってもそれ以外からの影響についても考慮が必要であり上記の例を主体として従来からの方法を併用し総合的な対策とすべきであると考ええる。

タンデム加速器建家では、以上の結果を考慮しノイズ対策として次の方法を採用している。

- (1) 測定回路，電子計算機などの電子回路用のAC電源は，各装置別または用途別に分けた障害波遮断トランスを通してAC電源ノイズ対策を行っている。(4.2.2 (b)参照)
- (2) 大電力機器，電子回路など負荷別に系統分けした高圧トランスを設置しAC電源ノイズ対策を行っている。(2.2.2参照)
- (3) 各種の実験装置・回路の信号を伝送するターゲット室と制御室間の信号ケーブルは，パイプ状の二重シールド構造とし輻射ノイズ対策を行っている。(3.3参照)
- (4) アースは，測定回路用，電子計算機用，加速器タンク用，実験分電盤用など夫々専用のアース極を設置している。

6. あとがき

この報告の結果は，すべての場所・条件に適合することは考えないが，測定を行ったVdG加速器建家と同様な実験室において有効なデータであると思われる。

なお，この報告の測定では，アースを一般分電盤から得ておりそれ以外の方法，例えば測定回路専用アースを使用する方法などに立ち入らなかったが，その理由としてアース以外の要因によってより大きなノイズ障害が生じている場合にアース回路の影響の実体がつかみにくいことがあげられ，今後この報告と合せて検討を進めていく所存である。また，タンデム加速器建家竣工後においては，加速器および加速器関連装置，実験装置，AC電源回路，アース回路など総合的なノイズ試験を試みる予定である。

参 考 文 献

- 1) 橋本忠朝 : ノイズ防止対策の総合的研究 (1977)
- 2) 足立昭二 : OHM, VOL 64/No.5 (1977)
- 3) 荒木庸夫 : 電子機器の遮蔽設計 (1970)
- 4) 伊藤健一 : アース回路 (1972)
- 5) 金原節朗 : 原子力工業, 17, No.10, (1971)