

15. BÖLÜM

😊😊😊 BIYOTELEMETRİ 😊😊😊

15.1. Giriş

- **Biyotelemetri**, bilgi işleme için erişilmesi ya da bulunulması güç olan ortamdan, işleme veya inceleme ortamına gürültüsüz olarak taşınması veya aktarılması işlemidir.
- Yerine göre, **teletıp, e-sağlık** kavramları bu konu içerisinde dikkate alınır.
- **Telemetry**, uzaktan ölçme anlamını taşır.
- Ölçme dışında, telemetry sistemi, **izleme ve kontrol** için de kullanılmaktadır.
- **Biyotelemetrinin amacı**, insan ve hayvanlardan, hareketlerini kısıtlamadan ve normal yaşamlarını sürdürürken verimli biyolojik ve fizyolojik işaret verilerini, verilerin işleneceği ve gözlemleneceği ortama, gürültüsüz olarak aktarmaktır.
- Biyotelemetri, **tıbbi araştırma ve klinik izleme (clinical monitoring)** gibi çeşitli alanlarda, yararlı ve esnek bir araç olarak kullanılmaktadır.
- Kullanım alanları;
 - ✚ İnsan ve hayvanların hareketlerinin incelenmesi,
 - ✚ insanların stres ve egzersiz fizyolojilerinin izlenmesi,
 - ✚ uzayda ve deniz dibinde çalışma yapan kişilerin sağlık durumlarının izlenmesi,
 - ✚ hastaların hastalıkla ilgili bazı parametrelerinin (pH, tansiyon, sıcaklık, kas kasılma kuvvetleri, kan akış hızı gibi) izlenmesi,
 - ✚ EKG, EMG ve EEG gibi fizyolojik işaretlerin uzaktan izlenmesi,

- ✚ hayvan veya hayvan topluluklarının göçlerinin incelenmesi ve yaşadıkları yerlerin bilinmesi,
- ✚ hayvanların biyolojik parametre ve işaretlerinin izlenmesi gibi konular biyotelemetri sisteminin kullanılmasını gerektirir.

✚ Biyotelemetri, diğer yandan,

- yoğun bakım ünitesi gibi, hareketleri sınırlayıcı ve psikolojik olarak hastayı etkileyici ortamdan uzakta ve normal yaşantısı içinde, dinlenen, serbestçe hareket eden veya çalışan denekten alınan EKG işareti gibi hasta verilerinin doktor tarafından uzaktan izlenmesi,
- uzaktan hasta kontrolü veya uzaktan hasta izlenmesi olarak biyomedikal mühendisliğinin değişik bir çalışma alanıdır.

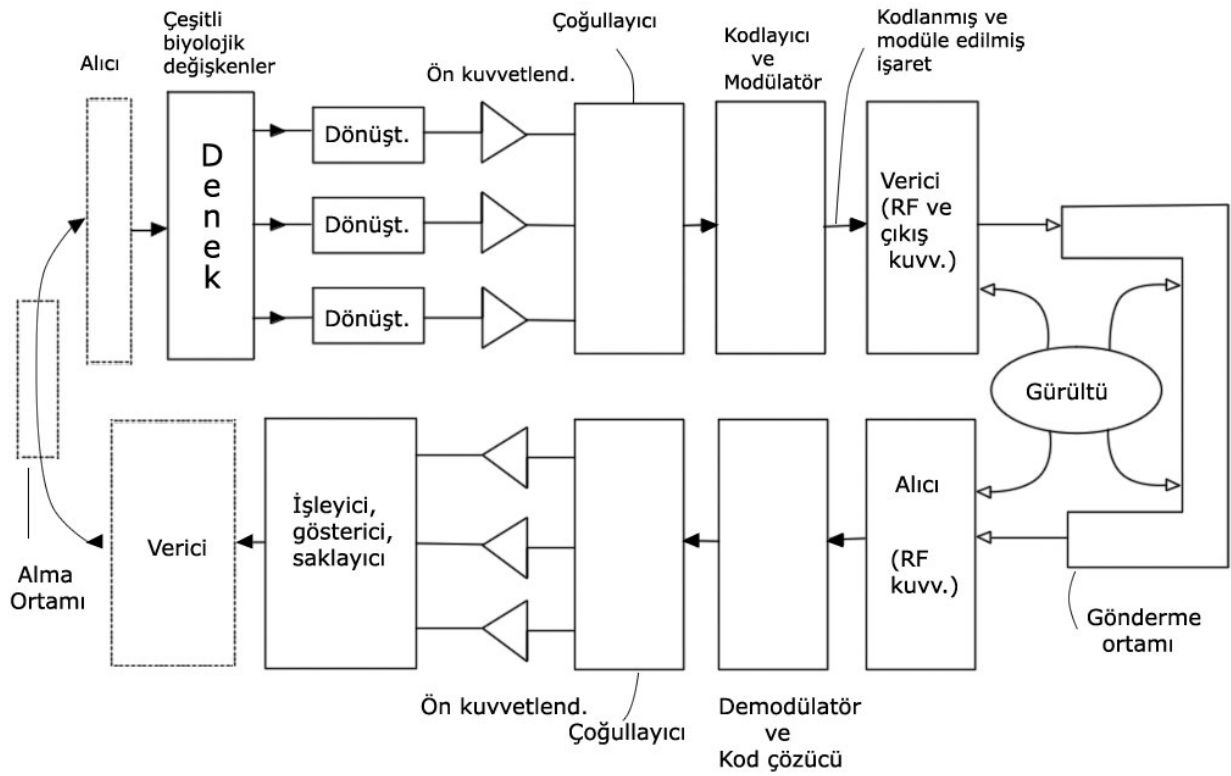
✚ EKG işareti, telemetri üzerinden taşınan biyolojik işaretlerin hemen hemen en üst sırasında yer almaktadır.

✚ Vücut içinden fizyolojik işaretlerinin algılanmasında veya uyarıcılar (stimülatörler, kalp pilleri) ve ilaç zerketme sistemlerinde olduğu gibi vücut içi çalışan (implante edilmiş) cihazların kontrol ve programlanmasında, telsiz telemetri, vücutta enfeksiyon meydana getirecek kablo bağlantılarına gerek kalmadan güvenli bir şekilde kullanılmaktadır.

15.2. Biyotelemetri Sistemlerinin Yapısı ve Sınıflandırılması

✚ Biyotelemetri sisteminin genel yapısında;

- denek,
- işaret algılayıp işleyici,
- verici,
- iletişim ortamı,
- alıcı,
- işaret şekillendirici ve
- görüntüleyici bulunmaktadır.



Şekil 8.1 Çok kanallı biyotelemetri sisteminin blok diyagramı

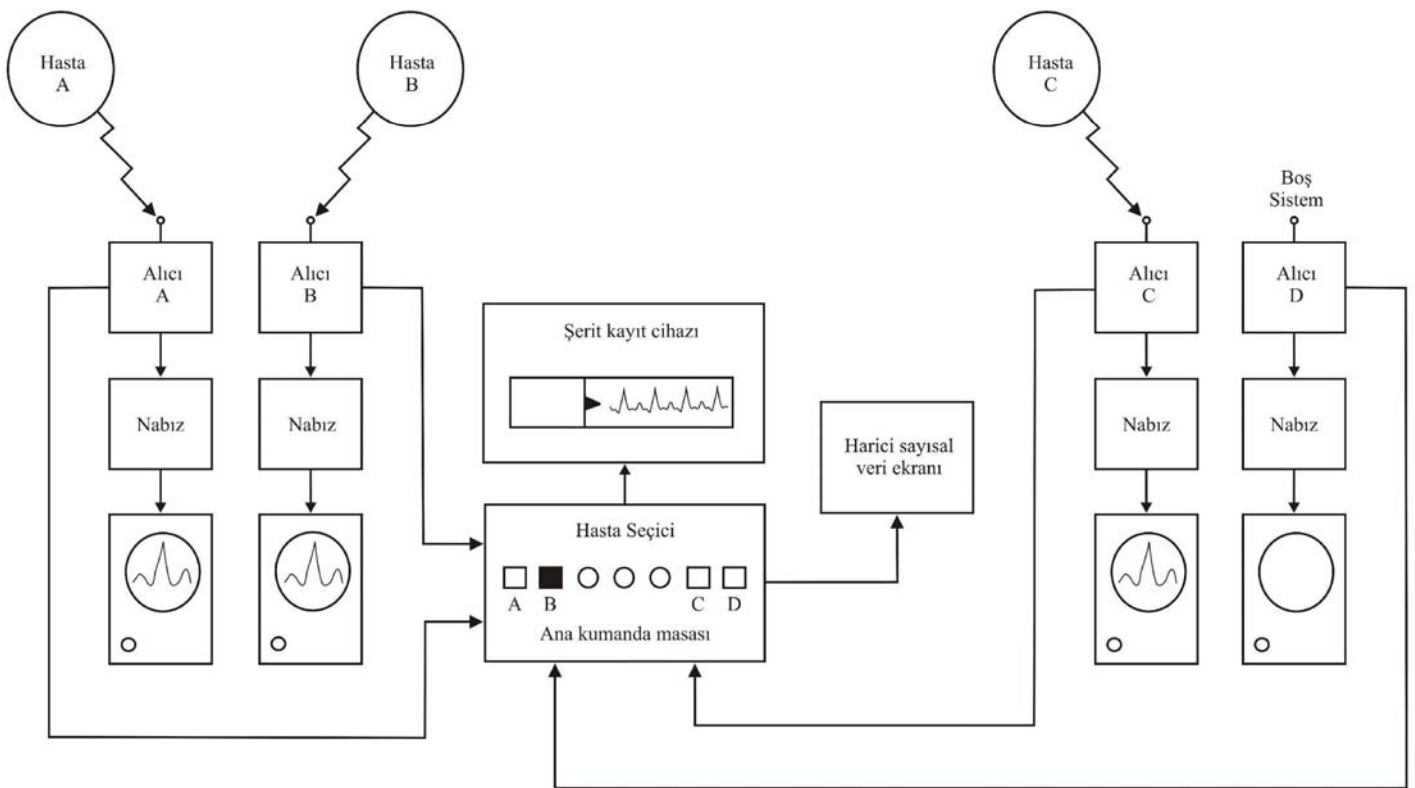
- ➔ Gönderilen işaret verileri, çok kanallı (birden çok parametre) olabilmektedir.
- ➔ Bu amaçla kullanılan çoğullayıcı, birden çok kanal işaretini bileşik (kompozit) işaret olarak tek kanal işaretine çevirir.

➔ Bazı durumlarda, izleme ortamından denek tarafına, geribesleme veya kontrol amacına yönelik olarak bir bilgi de gönderilebilmektedir.

✚ Bu, özellikle, sayısal işaret gönderirken, bilgi bozulması ve kaybını önler ve vericiyle alıcı arasındaki senkronizasyonu sağlar.

➔ Analog EKG telemetri sisteminin blok diyagramı;

- Hastalar (A, B, C)
- EKG dalgası
- VHF ya da UHF rf vericiler
- rf alıcılar
- demodülatör
- analog dalga şekillendirici
- osiloskop.



Şekil 15.2 Bir analog EKG telemetri sistemi blok diyagramı



Telemetriler,

- telli (tel bağlantılı)
- telsiz
- karışık (telli ve telsiz bir yapı).



Telli telemetrilerin bir kısmı telefon hatlarını kullanmaktadır.



Telsiz telemetrilerin bir kısmı, aktarma işlemi için elektromanyetik enerjiyi (radyo-link hattını) kullanırken, diğer bir kısmı, optik veya akustik veri aktarımını kullanırlar.

Çizelge 15.1 Çeşitli amaçlar için kullanılan biyotelemetri teknikleri

	TRANSMİSYON ÇEŞİDİ										
UYGULAMA ALANI	Telli telemetri	Bileşik telem.	Radyotelemetri	Ultrasonik telem.	Optik telemetri	Telefonik telem.	Hafızalı telem.	İmplant düzenler	Yutulabilir düzen.	Portatif düzenler	Sabit düzenler
HAYVAN UYGULAMALARI											
Uzaktan ölçme	(x)		x	x	x			x	x	x	
Takip			x	x	(x)			(x)	(x)	x	
Kontrol			x	x	(x)		x	x		x	
İNSAN UYGULAMALARI											
Hasta izleme	x	x	x	x	x	x		(x)		x	(x)
Fonksiyon testleri			x	x	x	x		x	x	x	
Rehabilitasyon			x	x	x	x	x			x	
Uzaktan teşhis	x	x	x			x				x	
Uzaktan tedavi	(x)	(x)	x	x			x	(x)		x	x
İlk yardım			x							(x)	x
Spor ve iş		(x)	x	x	x		x	(x)	x	x	
Araştırma		(x)	x	x	x		x	(x)	x	x	



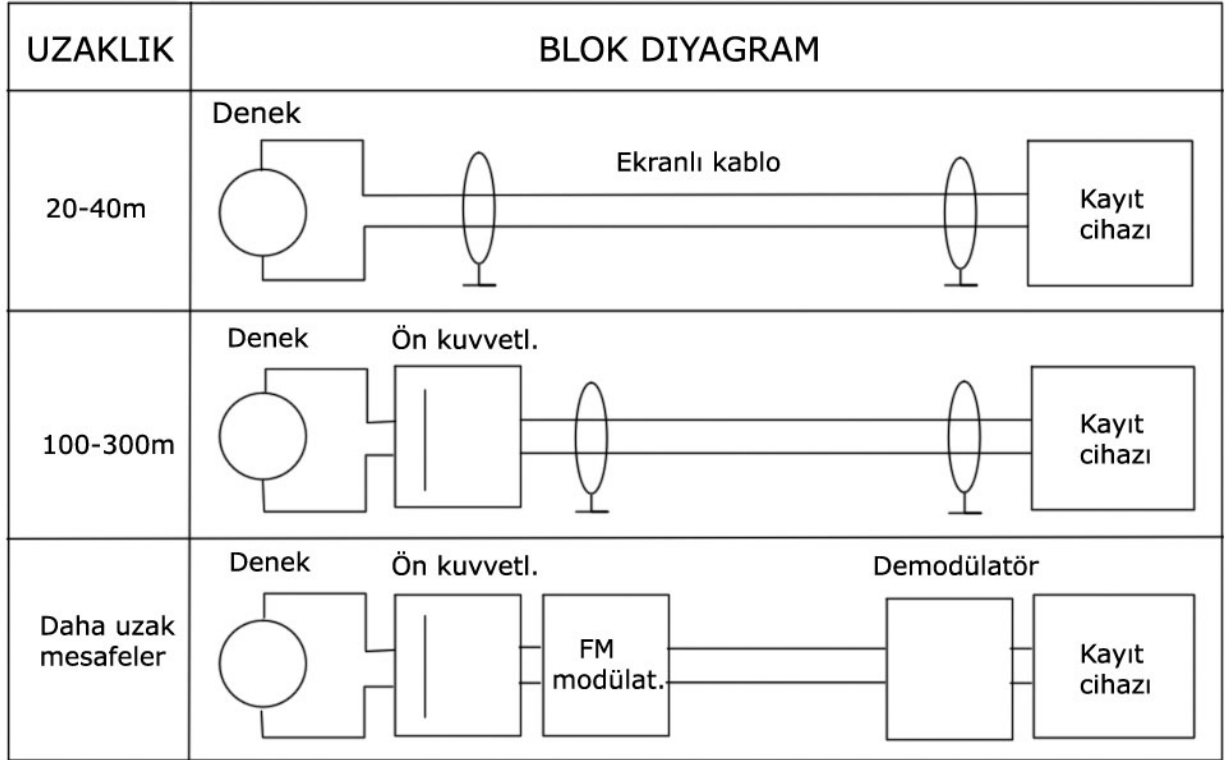
Bir biyotelemetri sisteminin tasarımında etkili olan etkenler;

- iletişim tipi,
- kanal adedi,
- modülasyon tipi,

- vericideki bilgi işleme yöntemi,
- verici kontrolü gerekip gerekmemesi,
- vericideki güç kaynağı tipi,
- vericinin boyutlarıyla ömrü ve
- tesir alanı olarak sıralanabilmektedir.



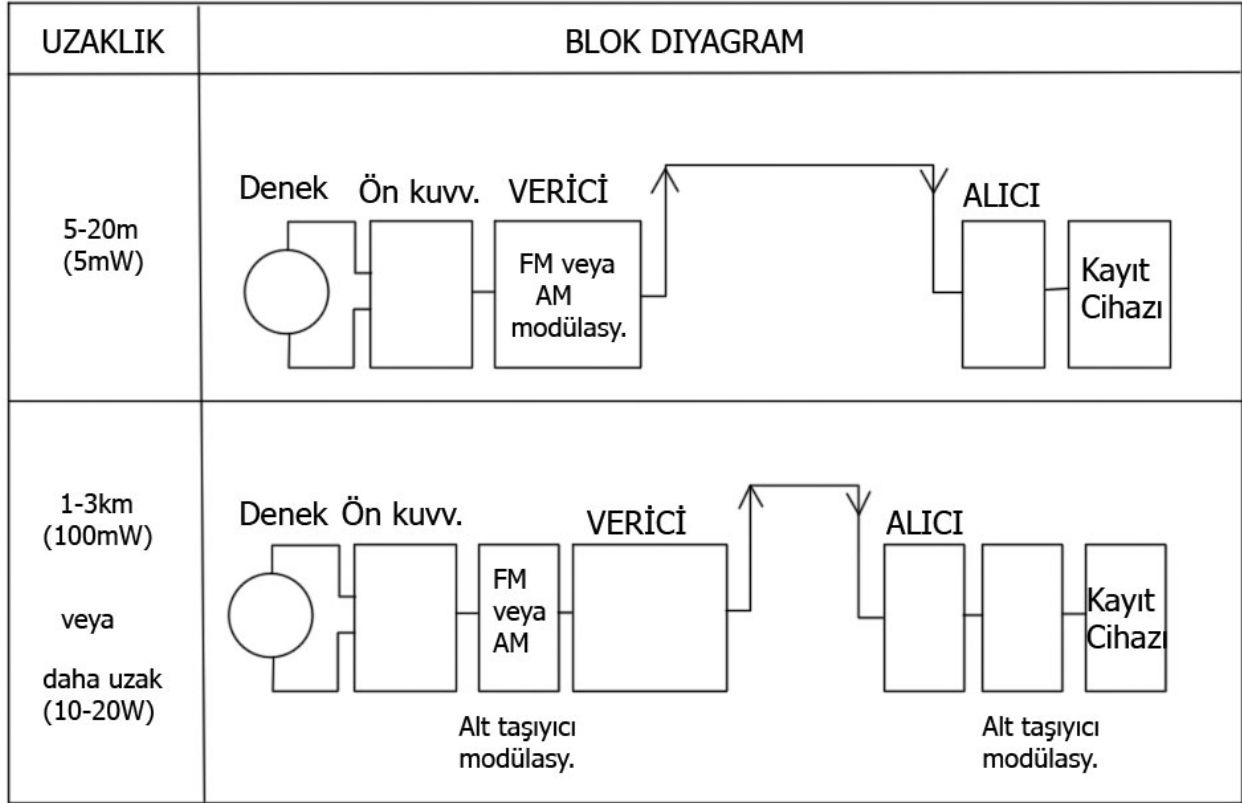
Telli telemetrinin tasarımında iletim uzaklığına bağlı olarak kullanılan yöntemler;



Şekil 15.3 Çeşitli iletim uzaklıkları için telli telemetri blok diyagramları



Telsiz telemetri tasarımında kullanılan yöntemler;



Şekil 15.4 Çeşitli iletim uzaklıkları için telsiz telemetri blok diyagramları



Telli ve telsiz telemetri karşılaştırılmasında;

- Hastanın alıcıya kablolarla bağlı olması nedeniyle, telli telemetri, hastanın hareketlerini çok kısıtlamaktadır.
- Telli telemetri yöntemi, bilhassa hastanedeki yoğun ve acil bakım ünitelerinden, bilgisayar ve kontrol sistemlerinin bulunduğu hastane içi merkezlerine bilgi aktarımında çok kullanışlıdır.
- Uzak mesafeler için telefon kanalları devreye girdiğinde, band genişliği (0,3-3KHz) ve birim zamanda taşınacak bilgi miktarı oldukça azalır.



Telemetrinin en yaygın tipi telsiz telemetridir.

- Bu yöntem hastanın hareketlerini kısıtlamaz ve hasta üzerindeki psikolojik ve fiziksel etkisi de fazla değildir.
- Yüksek frekanslı taşıyıcı, elektromanyetik, mekanik (ses veya ultrases) veya optik (normal veya kızıl ötesi ışık) dalgalarla gönderilir.



İletim ortamı yalıtkan (hava) olduğu zaman, genellikle elektromanyetik ve optik dalgalar kullanılır.



Birçok ülkede, kullanılacak frekans bandları hükümetler tarafından kısıtlanmıştır.



İletken ortamlarda (deniz suyu gibi) elektromanyetik dalgalar, çabuk zayıfladıkları için kullanılmaya elverişli değildir. Bu ortamlarda, genellikle, ses veya ultrases şeklinde mekanik dalgalar kullanılır.



Basınç dalgaları, engellerden kolay yansıdığı için, telemetrik bilgi aktarımından çok, takip (bir hayvan sürüsü, dalgıç v.b.) amaçları için çok elverişlidir.



İletken ortamlarda yapılan bazı çalışmalarda ise bilgi, deney hayvanı veya hastadan, yüzeydeki hareketli bir radyo vericisine kablo ile taşınır ve oradan da alıcıya elektromanyetik dalgalarla gönderilir.



Bunların dışında, sığ sularda, izleme amaçları için elektromanyetik dalgalar ve basınç odalarındaki dalgıçların fizyolojik izlenmesi için kızıl ötesi ışınlar kullanılmaktadır.



İletim mesafesi arttıkça gerekli güç de artmaktadır. Bu da, vericinin fiziksel boyutlarını ve maliyetini artırmaktadır.

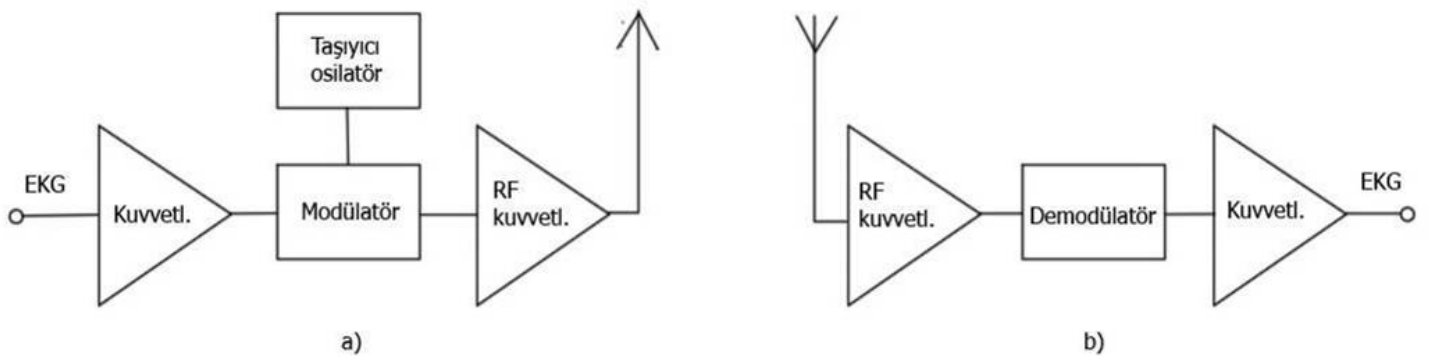
► Bazı durumlarda, telli ve telsiz telemetriyi birleştirmek, böylece de küçük vericilerle yapılan yayınların hastalara sağladığı serbestlikten ve telli sistemin uzak mesafelere bilgi taşıyabilme özelliklerinden beraber yararlanmak en uygun çözüm olabilir.

15.3. Radyotelemetri Sistemleri

❄️ **Radyotelemetri**, ameliyathanelerde emniyetli hasta monitörü olarak, kardiyolojide, ekzersiz fizyolojisinde ve tıbbın birçok alanında çeşitli ölçüm ve izleme amaçları için kullanılmaktadır.

❄️ Düşük frekanslı olmaları nedeniyle, biyolojik işaretlerin, radyodalgası olarak yalnız başına gönderilmeleri mümkün değildir. Bunun yerine, iletim ortamında taşınabilen **yüksek frekanslı radyo frekans (RF) işareti, biyolojik işaret ile modüle edilerek** gönderilmektedir.

15.3.1 Tek Kanallı Radyotelemetri Sistemleri



Şekil 15.5 Tek kanallı radyotelemetri sisteminin blok diyagramı a) verici b) alıcı

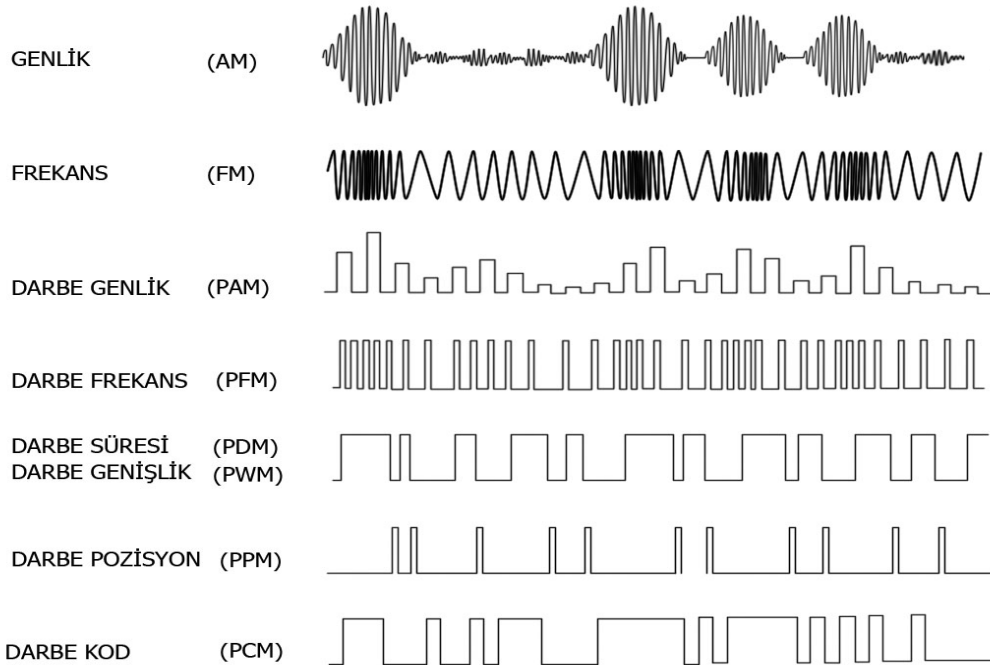
- ➔ Tek kanallı radyotelemetri sistemleri, sadece bir adet fizyolojik işaretin gönderilmesini amaçlamakta ve bu yüzden de basit verici yapısına sahiptir.
 - ➔ Denek üzerinden elektrotlar aracılığıyla algılanan fizyolojik işaretler (EKG, EMG, sıcaklık gibi) yükseltilerek bir taşıyıcı işareti (rf işareti) ile modüle edilir.
 - ➔ Modülatör çıkışında, modüle edilmiş işareti yükselten bir rf yükselteci ve son katta da anten sürücü olarak bir çıkış yükselteci bulunur.
-
- ✎ Olabildiğince küçük boyutta gerçekleştirilen ve hasta üzerinde taşınan vericinin güç kaynağını piller oluştururken alıcı şebekeden beslenmektedir.
 - ✎ İletişimde genel olarak elektromanyetik enerji kullanılmaktadır.
 - ✎ Alıcı tarafta ise, alıcı antenden alınan işaretler, RF yükseltecinde yükseltilerek demodülatöre uygulanır.
 - ✎ Demodülatör çıkışında, uygun bir filtreden geçirilerek elde edilen fizyolojik işaretler, bir yükselteç yardımıyla kuvvetlendirilerek işlenecek ve izlenecek duruma getirilir.

Radyo dalgası kullanan radyotelemetrilerdeki taşıyıcı frekansları, 20-500 MHz arasında olan yüksek frekanslardır.

Bu kadar yüksek frekanslı işaret kullanmanın nedenleri;

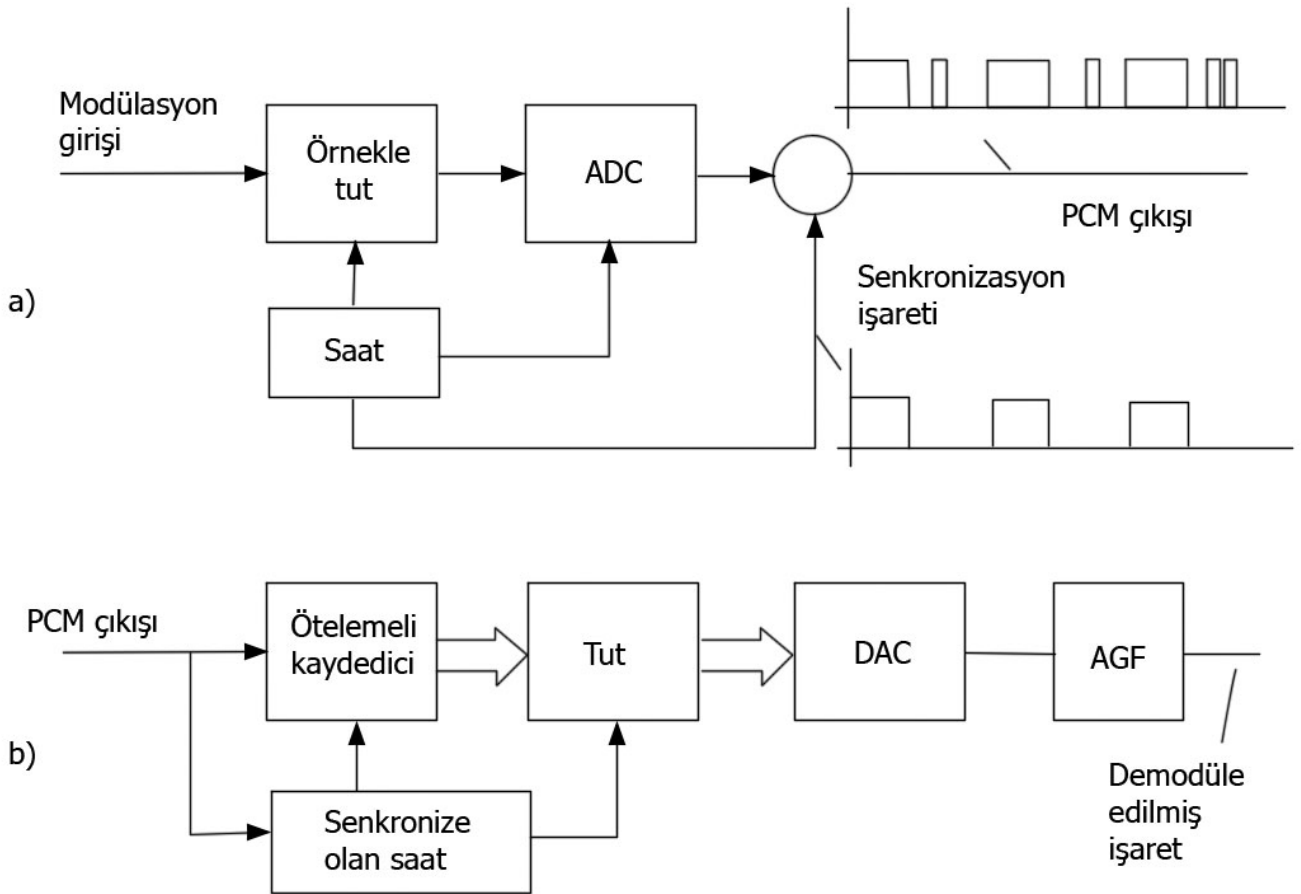
- i) küçük boyutlu verici yapımını gerçekleştirecek şekilde tasarımda kullanılacak kapasite ve bobin gibi pasif elemanların boyutları çok küçük olmaktadır,
- ii) yüksek veri transfer kapasitesi (çok kanallı olma imkanı) elde edilmektedir,
- iii) anten boyutları çok küçük olmaktadır ve
- iv) metal yapılanmaya rağmen uzak mesafelere bilgi aktarımı mümkün olmaktadır.

✈ Modülasyon tekniği olarak, genlik (AM), frekans (FM) ve darbe modülasyonu (PM) kullanılmaktadır.



Şekil 15.6 Çeşitli modülasyon ve kodlama teknikleri

- ❄ Darbe modülasyonları içerisinde **darbe frekans modülasyonu** (PFM), **darbe kod modülasyonundan** (PCM) sonra, gürültüden en az etkilenen modülasyon türüdür.
- ❄ PCM modülatöründe (vericisinde) temel eleman, bir analog-sayısal çeviricidir (ADC). ADC girişinde, bir saat osilatörü ile kontrollü olarak çalışan bir örnek al-tut devresi bulunmaktadır. Örnek al-tut devresi, ADC'nin çevirme süresi içinde, çevrilecek analog işaretinin kararlı kalmasını sağlamaktadır.



Şekil 15.7 Darbe kod modülasyonlu sistemin a) verici ve b) alıcı düzenleri blok diyagramları

- ❄ Saat osilatörü, örnek al-tut devresini tetiklerken, bir taraftan ADC'nin çevirme işlemini başlatmakta ve bir taraftan da PCM çıkış işareti için senkronizasyon darbesi üretmektedir.
- ❄ Senkronizasyon işareti, alıcı tarafta rahatça dedekte edilebilmesi için, ADC çıkışındaki sayısal işaret değişiminden farklı olarak, örneğin darbe süresi uzun olacak şekilde, seçilmekte ve sayısal bilgi işaretine eklenmektedir. Bu uzun süre, zaten, ADC'nin çevirme süresine de karşı gelmektedir. ADC'de sayısala çevrilen örneklenmiş bilgi, ikili sayı kodları şeklinde, veya daha özel işaretlerle kodlu olarak ve genelde seri şekilde karşı tarafa gönderilmektedir.
- ➡ İşaretin içeriği, gönderme hızı ve minimum hata olasılığı gözönüne alınarak özel kodlama seçilebilir. Senkronizasyon işareti, alıcı ve vericinin zamanlamada uyuşmalarını, örnek aralıklarının (başlama ve bitme sürelerinin) alıcı ve verici tarafta, gönderilen sayısal işaret değişimlerine göre, aynı durumlarını korumalarını sağlamaktadır. Harici gürültüye karşı diğer modülasyon yöntemleri içinde en az etkilenen olmasına rağmen, PCM modülatörünün ADC'den kaynaklanan kuvantalama gürültüsü bulunmaktadır. Kuvantalama gürültüsünü azaltmak için, kuvantalama adımını küçültmek ve bunun için de kodlamada kullanılan ikil (bit) sayısını arttırmak gerekir. Bu ise, taşınan işaretin band genişliğini arttırmaktadır.
- ➡ Alıcı tarafla ise, seri bilgiyi paralel bilgiye çeviren bir ötelemeli kaydedici (shift register) ve ardında da bu bilginin analog büyüklüğe çevrilmesini sağlayan bir sayısal-analog çevirici (DAC) bulunmaktadır.

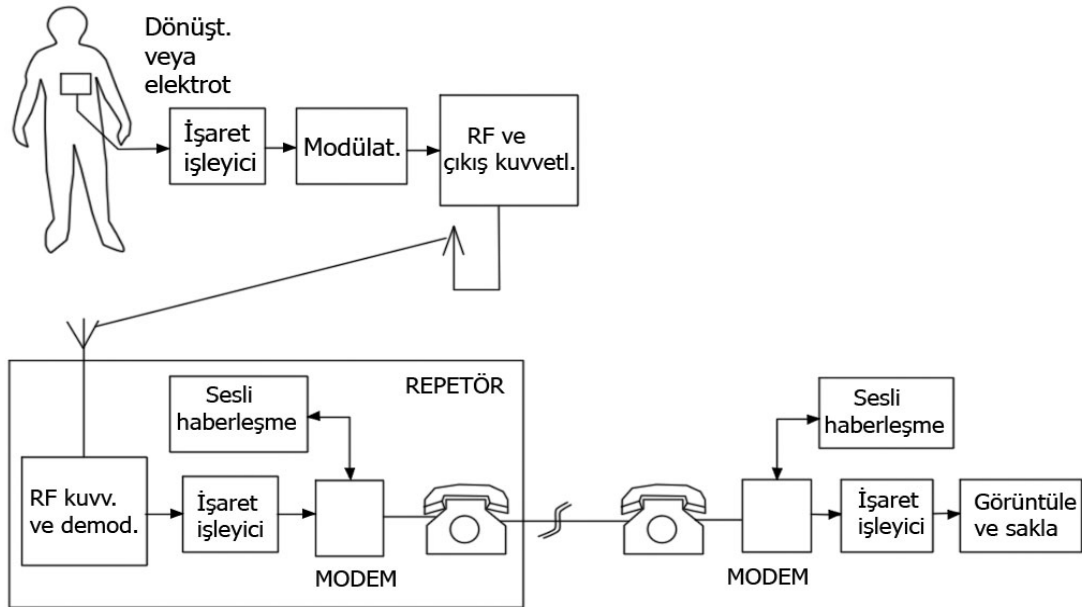
- ✎ Alıcı taraftaki saat osilatörü, devredeki blokların zamanlama kontrollerini yapmaktadır.
- ✎ Alıcının son katındaki alçak geçiren filtre (AGF), demodülatör çıkış işaretindeki kuvanta gürültüsünü azaltmaktadır.

15.3.2 Çok Kanallı Radyotelemetri Sistemleri

- ✎ Çok kanallı radyotelemetri sistemlerinde, bir taşıyıcı işaret üzerinden iki veya daha fazla kanal bilgisi gönderilir. Çeşitli kanallara ait işaretlerin tek bir kanal işareti durumuna getirilme işlemi, çoğullama (multiplexing) ismini alır.
- ✎ Çoğullama, zaman paylaşımli çoğullama (time division multiplexing, TDM) ve frekans paylaşımli çoğullama (frequency division multiplexing, FDM) olarak ikiye ayrılır.
- ✎ Zaman ve frekans paylaşımli çoğullamaların karışımı da kullanılmaktadır. Çoğullama yapılmasaydı, her kanalın ayrı bir taşıyıcı ve ayrı bir iletim hattı üzerinden gönderilmesi gerekecekti. Bu durum ise, güç harcamasının, haberleşme kanalı band genişliğinin, sistem ağırlığının, büyüklüğünün ve maliyetinin artmasına yol açacaktı.
- ✎ Çoğullama, telemetri dışında başka amaçlar için de kullanılmaktadır. Genel olarak, kanallar arasında, karışımı önlemek amacıyla, uygun bir aralık bırakılmaktadır.

15.3.3 Telefonlu (Yer hattı) Telemetri

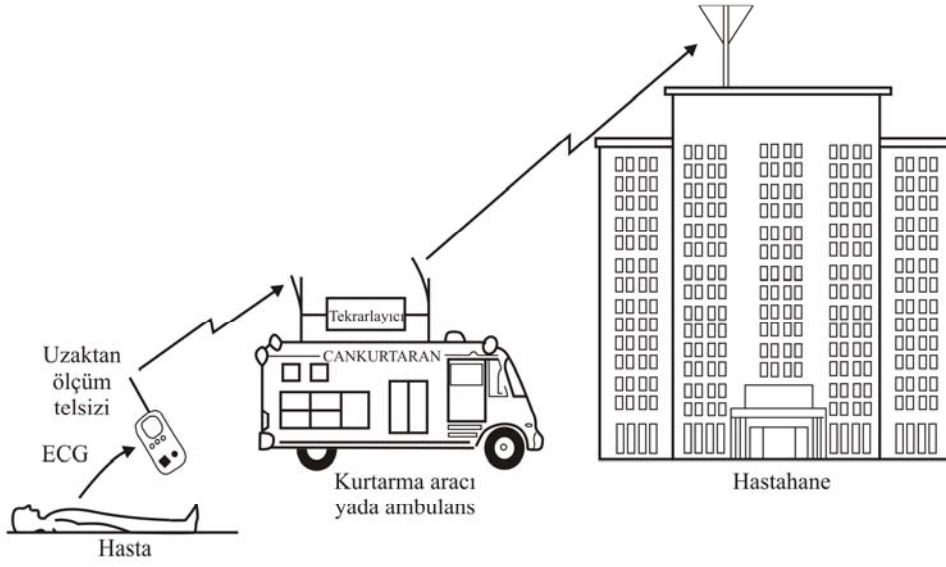
- ⇒ 1 Km'den uzak mesafelerde ve özellikle şehirlerarası telemetrik bilgi taşımacılığında, telefon bir araç olarak kullanılmaktadır. Şehir içinde olduğu durumda da, telefonun, hastaneden uzak ortamdaki hastanın izlenmesindeki fonksiyonu büyüktür. Çok sayıdaki vericinin bulunduğu ortamda, telefonlu telemetrinin, bilginin gürültüsüz aktarılmasındaki rolü de oldukça büyüktür.
- ⇒ Telefonlu biyotelemetrinin ana uygulama yerleri, uzaktan hamileliğin izlenmesi, operasyon sonrası kalp hastalarının izlenmesi, kalp pili takılı hastaların izlenmesi ve kalp pili kontrolü olarak sıralanmaktadır.



Şekil 15.8 Telefonlu biyotelemetrinin basitleştirilmiş blok diyagramı

- ➡ **İşaret işleyici**, algılayıcı elemana uygun olarak tasarlanan basit bir yükselteç olabildiği gibi buna ek olarak ADC ve senkronizasyon ilave edici birimleri de içermektedir.
- ➡ **Modülatör**; FM, AM veya PM modülasyonunu kullanabilmektedir. Bu basit yapı ile hasta üzerindeki işaretler, verici aracılığıyla, ancak yakındaki repetör (tekrarlayıcı-aktarıcı) düzene ulaştırabilmektedir.
- ➡ **Tekrarlayıcı düzeni**, bazı durumlarda, bir ambulans içi aktarıcısı olabilmektedir (Şekil 15.9). Tekrarlayıcıda, alıcı RF yükselteci ile alınan işaretler yükseltip işlendikten sonra MODEM birimi aracılığıyla telefon sistemine aktarılmaktadır.

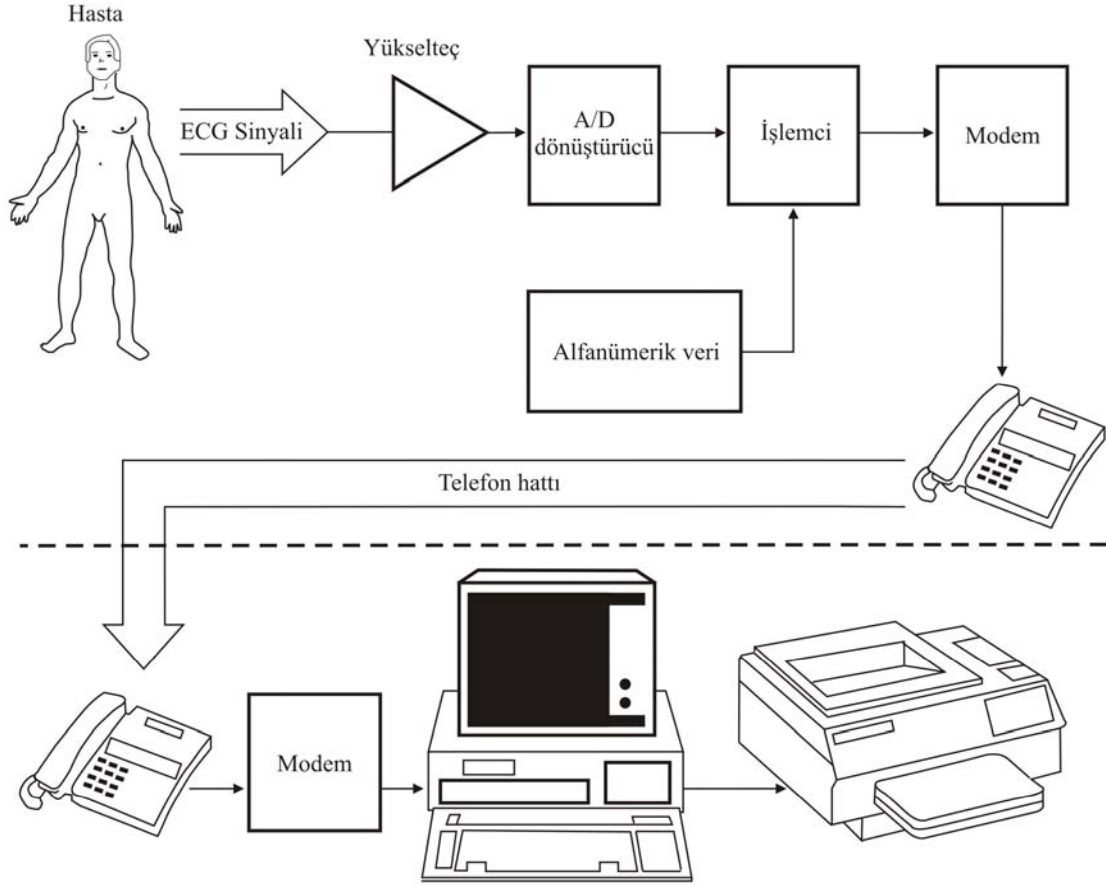
- ⇒ Fizyolojik işaretler telefon sistemiyle hastane ortamına aktarılmaktadır. Bu şekliyle bu düzene, **tekrarlayıcı biyotelemetri sistemi** adı verilmektedir.
- ⇒ Bazı durumlarda, tekrarlayıcı sistemi devrede bulunmaz ve bu durumda, hasta üzerinden elektrotlar veya dönüştürücülerle algılanan işaretler yükseltip işlendikten sonra doğrudan olarak MODEM aracılığıyla telefon hattına aktarılır.
- ⇒ Telefon sistemiyle, veri aktarımına geçmeden önce, sesli olarak haberleşmek de mümkün olmaktadır.



15.9 Tekrarlayıcı EKG telemetri sistemi

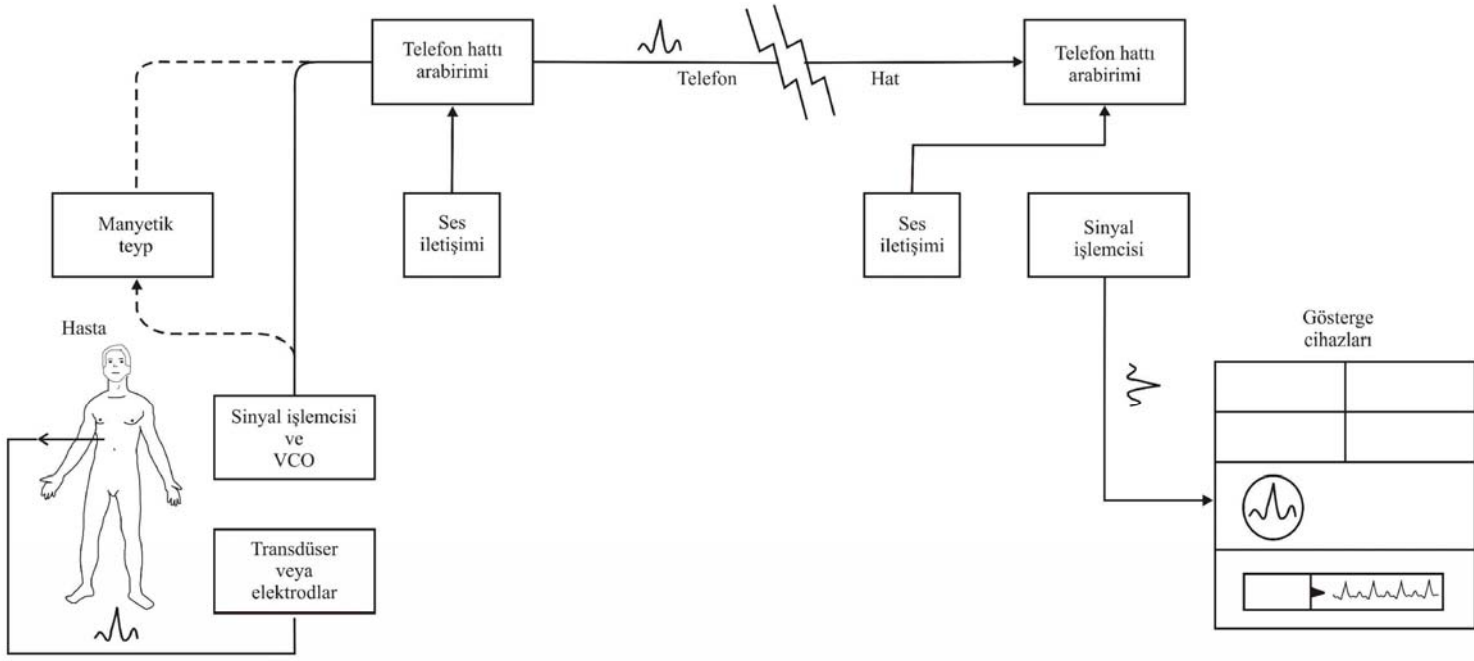


Günümüzde, cep telefonları veya oto telefonları aracılığıyla, Şekil 15.8'deki sistemi, araya telefon sistemi dışında özel tekrarlayıcı devresi eklemeyen, kolayca gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Bu durumda, taşınacak biyolojik işaret ve parametrelerin **telefon sistemine (ahizesine) kuplajı** problemi ortaya çıkar. Bu probleme cevap olarak önce, analog işaretlerin ADC (analog-sayısal çevirici) yardımıyla sayısala çevrilmesi (PCM, darbe kod modülasyonu) ve sonra da basit MODEM yapılarıyla sayısal bilgideki 1 ve 0'ların, özel frekanslı sinüs biçimli işaretlere çevrilerek telefon sistemine akustik veya indüktif olarak kuplajı mümkündür (Şekil 15.10).



Şekil 15.10 Sayısal yer hattı telemetri sistemi

MODEM kullanılmadığı durumda, ADC elemanına da gerek olmadan daha basit şekilde, analog işaretleri bir VCO (gerilim kontrollü osilatör) yardımıyla biyolojik işaretlerle modüle edilmiş ses işaretlerine çevirip, telefon sistemine, akustik veya indüktif olarak kuple etmek mümkün olmaktadır (15.11).

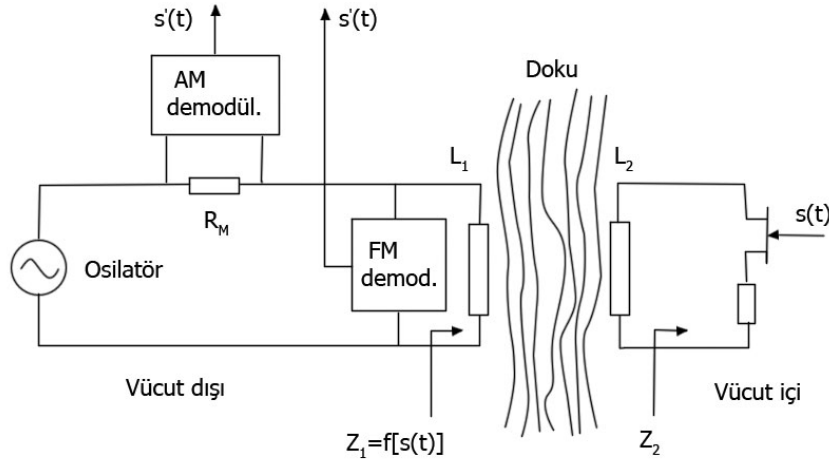


Şekil 15.11 Analog bir yer hattı telemetri sisteminin blok diyagramı.

15.4. Vücut İçi Telemetrisi

⇒ Şekil 15.12’de, vücut içine yerleştirilen (implantable) bir telemetri sisteminin blok diyagramı gösterilmiştir.

- Sistemin asıl görevi, vücut içinde iken, bir program dahilinde kalbe uyarıcı darbeler göndermektir.
- Bu sistemin ikinci görevi de, vücut içi fizyolojik verilerinin (kalp pili verileri ile vücut içi EKG işaret değişimlerinin), görüntüleme (izleme) ve yazma (saklama) amaçlarına yönelik olarak, vücut dışına aktarılmasını sağlamaktır.
- 👉 Hastaların ve hasta içine yerleştirilmiş cihazların sürekli kontrolü için, sürekli bilgi alışverişi gerekli olmaktadır.
- 👉 Telemetri sistemlerinde, verici kısmın beslemesi pilli ya da akümülatörlü olacaksa, verici sisteminin güç harcaması, vücut içinde yerleştirilmiş cihazların güç harcamasına kıyasla oldukça fazla olmakta ve bu da uzun süreli veri aktarımını kısıtlamaktadır.



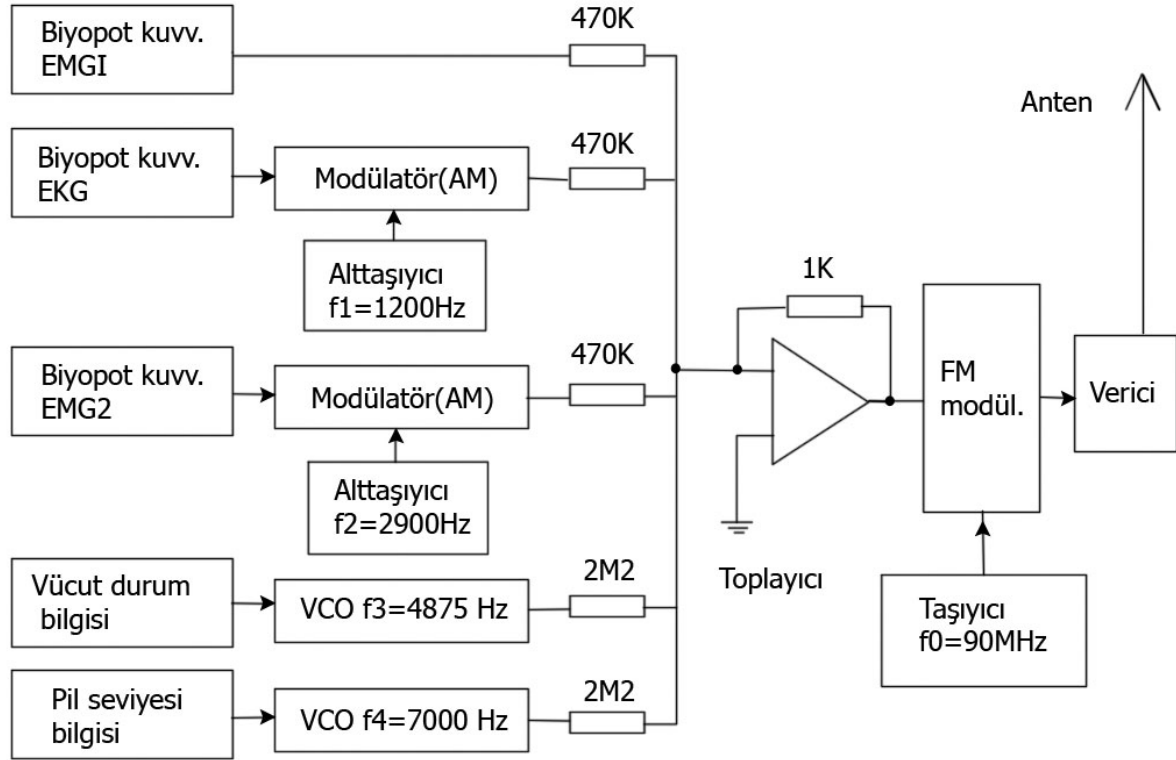
Şekil 15.12 Basit bir vücut içi telemetri sisteminin blok diyagramı

- Basit indüktif telemetri sistemi, sürekli veri aktarımı için elverişli olmaktadır, çünkü, bu sistemlerin güç harcamaları, pasif olarak bilgi aktarımını kullandıklarından oldukça düşük olmaktadır.
- Bu sistemin çalışma prensibi, indüktif, elektromagnetik veya ultrasonik kuplaj yardımıyla, vücut içine gömülü cihazın parametre değişimlerini vücut dışına veya bu cihaz için gerekli kontrol işaretlerinin vücut içine aktarılmasıdır.
- Bu sistemde, vücut içi işaret veya parametre değişimi, örneğin FET elemanlı bir empedans çeviricide, empedans değişimlerine çevrilmekte ve bu değişim karşı (sekonder) tarafa bu kuplaj üzerinden aktarılmaktadır. Ayrı bir modülatör ve verici düzen gerekmeden, işaret, kuplaj üzerinden aktarılmakta olduğundan bu sistemlere pasif telemetri sistemleri adı verilmektedir.
- Bu şekilde bir yük modülasyonu yapılmış olmaktadır.
- Ağızdan yutularak sindirim sistemi içine alınan, hap şeklindeki bazı telemetrilerin beslemeleri ise, telemetriye, algılama elektrotları dışında yerleştirilen özel elektrotların vücut içi sıvısı ile birlikte oluşturdukları pil yardımıyla olmaktadır.

✍ Buraya kadar anlatılanlardan da anlaşılacağı üzere, vücut içi telemetri sistemlerinden beklenen; ağırlıklarının az olması, küçük hacimli olmaları, bakım olmadan uzun süreli çalışabilmeleri, çok az güç harcamalarının olması, doku uyumsuzluğuna sebep olmayacak tedbirlerin alınmış olması, güvenli çalışmaları ve vücut sıvılarına karşı özel olarak yalıtılmış olmalarıdır.

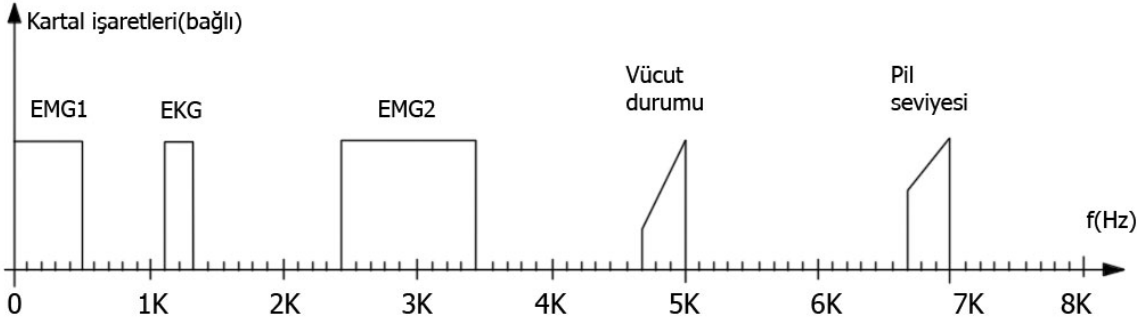
15.5. Çok Kanallı Biyotelemetri Sistemi Tasarımı

-  Şekil 15.13’de, işaret işleme ortamından 100m uzakta serbest olarak hareket eden bir deneğin, egzersiz sırasındaki EMG ve EKG gibi fizyolojik işaret bilgilerinin uzaktan izlenmesi ve analizi amacı için gerçekleştirilmiş olan bir biyotelemetri sisteminin verici kısmının blok diyagramı gösterilmiştir.
-  Sistem, iki EMG, bir EKG, bir vücut durum göstergesi ve bir verici batarya seviyesi göstergesi olmak üzere beş ayrı kanal bilgisini aktarmaktadır.
-  Deneğin aktif olarak çalıştırdığı kasından algılanan EMG2 işareti yanında, karşılaştırma amacıyla, referans seçilen kasından algılanan EMG1 işareti de, kanal işaretleri olarak kullanılmaktadır.
-  Diğer kanal işaretlerinden EKG, deneğin, egzersiz sırasındaki kalp faaliyetini ve kalp vurum hızını incelemek için kullanılmıştır.
-  Deneğin, oturuyor, yatıyor ya da ayakta olduğu bilgileri de ayrı bir kanal üzerinden gönderilmektedir.
-  Verici, denek üzerinde taşındığından, hafif ve pille (veya akümülatörle) besleniyor olmalıdır. Bu bakımdan, verici batarya (pil) geriliminin değerinin de alıcı tarafta bir bilgi olarak izleniyor olması gerekmektedir. Verici kısmı, pil geriliminin %83 değerine düşene kadar çalışacak şekilde tasarlanmıştır.

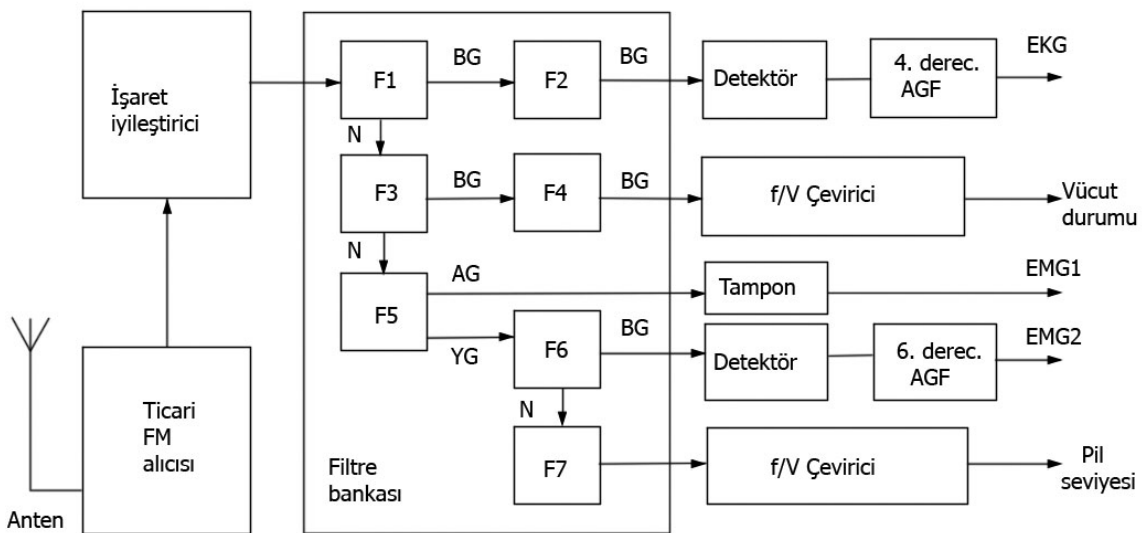


Şekil 15.13 Çok kanallı bir biyotelemetri sistemine ait vericinin blok diyagramı

- Sistemde, **frekans paylaşımlı çoğullama** kullanılmıştır.
- EMG1 işareti, bir alttaşıyıcı olmadan doğrudan toplayıcıya verilmektedir.
- Diğer kanal bilgileri ise, toplayıcıdan önce birer alttaşıyıcı ile, genlik (AM) veya frekans (FM) modülasyonlu olarak, modüle edilmektedir.
- ☞ **Alttaşıyıcı frekansları öyle seçilmiştir ki, kanal frekanslarının harmonikleri (en azından ikinci harmonikleri), komşu kanal frekans bandı içine düşmemektedir.**
- ☞ Kanallar arasında verilen açıklık yardımıyla, alıcı tarafta kanallar birbirinden kolayca ayrılarak alınmaktadır.



Şekil 15.14 Frekans eksenine göre kanal bilgilerinin dağılımı

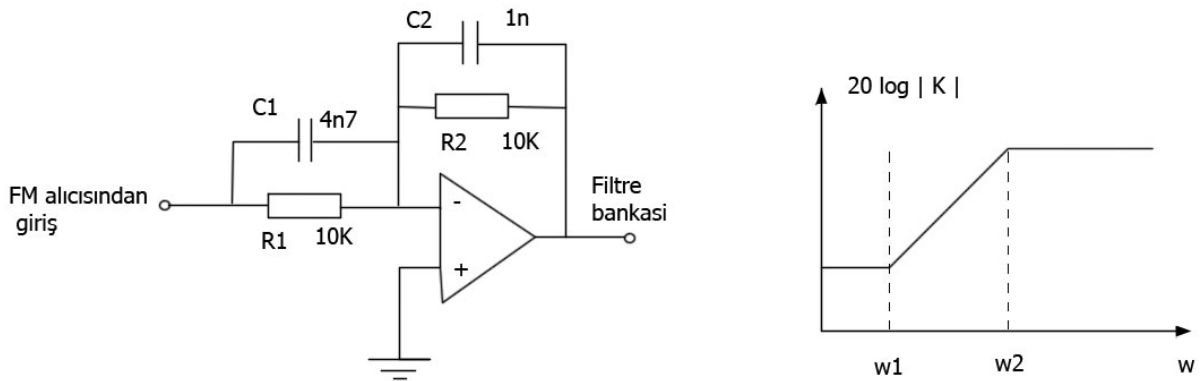


Şekil 15.15 Telemetri sistemi alıcı kısmı blok şeması

- ✚ İşaret iyileştiriciden geçirilen işaretler, Şekil 15.15’de gösterildiği gibi filtre bankasına uygulanmaktadır.
- ✚ Filtre bankasında, alt taşıyıcı frekanslarla modüle edilmiş kanallar kendi ait oldukları frekans bandlarına ayrılırlar.
- ✚ Filtre bankasında beş adet band geçiren olmak üzere toplam yedi filtre devresi bulunmaktadır.
- ✚ Filtre devrelerinden üçü, band geçiren ve çentik (band durduran) gibi çift fonksiyonlu olarak, biri (F5 filtresi) ise alçak geçiren ve yüksek geçiren olarak çalıştırılmaktadır.
- ✚ F1 ve F2 filtreleri, 1200Hz taşıyıcı frekanslı EKG işaretini süzen ve en geniş olarak 500Hz ile 2500Hz arasındaki frekans bölgesini geçirmek için tasarlanacak olan bir filtre grubudur.
- ✚ F1 filtresinin çentik çıkışı, EKG dışındaki diğer kanalların seçilmesinde kullanılmaktadır. F3 ve F4 filtreleri, band geçiren filtre olarak, 4700-5000Hz frekans aralığında bulunan vücut konumu bilgisini seçmek için tasarlanmaktadır.
- ✚ F3 filtresinin çentik çıkışında ise, EKG ve vücut konum bilgisi dışındaki kanal bilgileri bulunmaktadır.
- ✚ F5 filtresinin AGF çıkışında, alt taşıyıcı işaretlerle modüle edilmemiş olan EMG1 kanal bilgisi bulunmaktadır.
- ✚ F5 filtresinin yüksek geçiren (HP) çıkışında, sadece EMG2 ve pil seviyesi bilgilerini taşıyan kanallar bulunmaktadır.
- ✚ F6 filtresinin band geçiren (BP) çıkışında EMG2, çentik filtre çıkışında ise pil seviyesi kanal işareti bulunmaktadır.

- ✚ F6 çentik çıkışına bağlı olan F7 filtresinin band geçiren çıkışından, pil seviye kanal işareti alınmaktadır.
- ✚ EKG ve EMG2 kanal işaretleri, genlik modülasyonludur. Bu işaretlerin demodüle edilmesinde demodülatörler kullanılır.
- ✚ Genlik demodülatörü çıkışında, kesim frekansı EKG için 400Hz ve EMG için 725Hz olan dördüncü dereceden alçak geçiren filtreler kullanılmaktadır.

- Şekil 15.16'de, işaretin iyileştirilmesinde kullanılan frekans kompanzasyon devresinin şeması gösterilmiştir.
- İletişim hattının frekans bandı 22Hz-3,3kHz aralığında ve taşınan işaretlerin en yüksek frekans bileşeni ise 7kHz olduğundan, işaretin yüksek frekanslı kısımlarının genlik olarak düzeltilmesi için böyle bir frekans kompanzasyon devresine gerek duyulmuştur.
- Şekil 15.16b'de gösterilen devrenin köşe frekansları, $f_1 = 1/(2\pi R_1 C_1) = 3,4 \text{ kHz}$ ve $f_2 = 1/(2\pi R_2 C_2) = 15,9 \text{ kHz}$ olmaktadır.



Şekil 15.16 İşaret iyileştirici frekans kompanzasyon devresi şeması

15.6. Optik Biyotelemetri Sistemleri

- ❖ Işık, günümüzde, askeri ve endüstriyel alanlarda, haberleşmede ve ev içi kullanımlarda olduğu kadar tıpta da geniş bir uygulama alanı bulmuştur.
- ❖ Işığın başlıca kullanımla yerleri;
 - ✓ gece görmeyi sağlayan aletler,
 - ✓ termal kameralar,
 - ✓ güdümlü füze sistemleri,
 - ✓ uydular,
 - ✓ telemetri,
 - ✓ uzaklık kontrolü,
 - ✓ cisim veya şekil sayma düzenleri,
 - ✓ garaj kapılarının otomatik olarak açılması,
 - ✓ bazı binaların giriş kapılarının kapıya yaklaşan cisimle açılması, televizyon alıcılarında olduğu gibi uzaktan kontrol,
 - ✓ bar kod okuyucuları,
 - ✓ tıpta lazer uygulamaları (cerrahi cihazları), yalıtım gereken yerler (optokuplör),
 - ✓ endoskop (vücut içine gözlem için gönderilen ucu ışıklı alet),
 - ✓ litoskop (mesane içi taşları gözlemede kullanılan ucu ışıklı alet),
 - ✓ kornea ve retina ameliyat cihazları olarak sayılabilmektedir.
- ❖ Son yıllarda, yüksek hızlarda modüle edilebilen küçük boyutlu ışık kaynak ve iletişim hatlarının yapımından sonra, optik telemetri radyo telemetriye alternatif olmaya başlamıştır.

- Özellikle, telemetrik amaçlar için 1976 yıllarında kullanılmaya başlayan ve dalgaboyu 900nm'nin ($0,9\mu\text{m}$ 'nin veya $9000\text{\AA}$ 'un) üzerinde olan kızılötesi ışınlarla gerçekleştirilen telemetri sisteminin radyo telemetriye olan üstünlükleri;
- a) Radyofrekans ve ateşleme gürültülerinin ve diğer radyo istasyonlarından gelen girişimlerin işarete karışmaması,
 - b) yönlendirilmiş radyasyon (propagasyon, yayılma alanı) özelliklerinden ötürü, ortamda ölü noktaların oluşmaması,
 - c) kullanımda lisans almak gerekmemesi,
 - d) maliyetinin düşük ve güvenilirliğinin yüksek olması,
 - e) aynı yöntem ve dalga boyları kullanılarak bitişik odalarda birbirinden bağımsız çalışma yapılabilmesi,
 - f) vericinin denek üzerinde olduğu düşünüldüğünde, RF işaretlerinin biyoelektrotları ve giriş yükselteçlerini etkilemesine karşın, kızıl ötesi radyasyonların böyle bir etkide bulunmaması.

15.6.1 Kızılötesi Işık

- Haberleşmede, daha çok, kızılötesi (infrared, IR) ışık kullanılmaktadır. 800nm-1800nm dalgaboyu arasında bulunan kızılötesi ışık, görülebilir ışık ile radyo dalgaları arasında geniş bir dalgaboyu spektrumuna sahiptir.
- Telemetri sistemlerinde kullanılan kızılötesi ışığın dalgaboyu, daha çok, 900nm-1000nm arasında değişmektedir. Çizelge 15.2'de, kızılötesi ışığın, dalgaboyu spektrumundaki yeri gösterilmiştir ($100\text{nm} = 0,1\mu\text{m} = 1000\text{\AA}$).

Çizelge 15.2 Kızılötesi ışığın dalgaboyu spektrumundaki yeri [λ , (nm)]

Mor ötesi (ultraviyole)		Görülebilir ışık					Kızılötesi ışık (infrared)	
		mor	mavi	yeşil	sarı	kırmızı		
200	300	400	500	600	700	800	800	1800

↪ Kızılötesi ışık, ışık tayfında kırmızıdan daha az kırılan ve ısıtma etkisi olan karanlık ışıktır.

↪ Sis olsa bile ortamda kolayca ilerler.

↪ Başlıca kızılötesi ışık kaynakları;

- ➔ güneş,
- ➔ kıvılcım,
- ➔ neonlu, civa buharlı, tungsten veya kömür filamanlı lambalar,
- ➔ kızılötesi IRED diyotlardır (ışık diyotlarıdır).

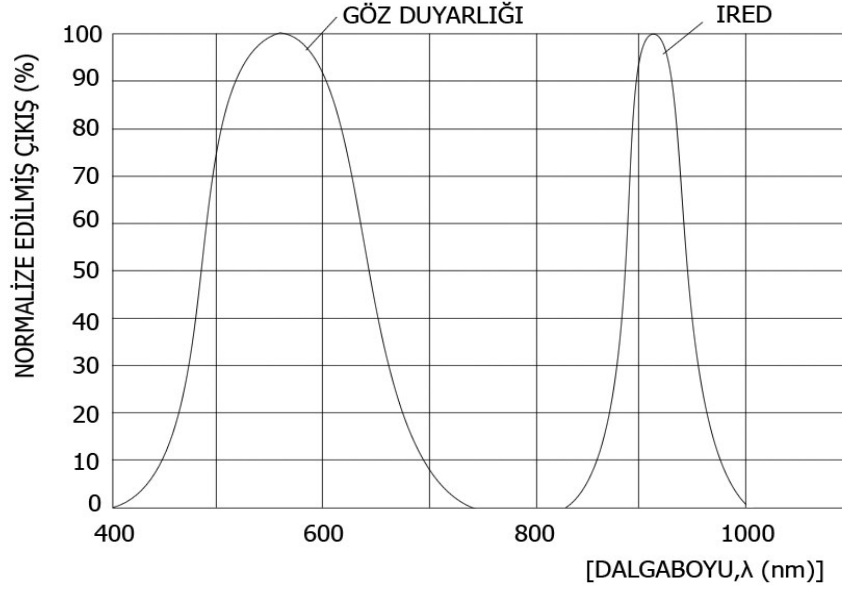
↪ Optik telemetride, gönderilecek işaretle modüle edilen ışık, kızılötesi radyasyon yapan özel diyotlarla (IRED diyotlarla) ortama verilerek alıcıya ulaştırılır.

↪ Alıcıda, ışığa duyarlı dedektörlerle (alıcı diyotlarla, fotodiyotlarla) ışık enerjisi, elektrik enerjisine dönüştürülür ve sonra da demodüle edilerek esas işaret elde edilir.

↪ Taşıyıcı işaret frekansı, alıcı ve verici elemanların hızına bağlı olarak, 200kHz'e kadar çıkartılabilmekte ve modülasyon tipi, genlik (AM), frekans (FM) veya darbe (PM) modülasyonu olabilmektedir.

15.6.2 Tek Kanallı Optik Telemetry

- ➔ Tek kanallı olarak biyotelemetry sisteminde amaç, denekten alınan bir fizyolojik işareti ışık yoluyla, denekten 30m'ye kadar uzaklıktaki işaret işleme ortamına aktarmak (örneğin bir oda içinde serbest olarak hareket eden hastanın EKG işaretlerinin aktarılması) olabilir.
 - ➔ Bu iş için, elektromanyetik radyo dalgasının kullanılması, yakın mesafelerde radyo dalgalarının kaybolduğu ölü noktaların bulunması ve bunlara diğer radyo dalgalarının etki etmesi gibi sakıncaları nedeniyle tercih edilmemektedir.
 - ➔ Verici kısmının en önemli parçasını ışık kaynağı oluşturmaktadır.
-
- ☞ **A) Kızılötesi (IRED) diyodu:** Verici kısmında kullanılan dönüştürücüde, kızılötesi radyasyon için, genellikle, Galyum-Arsenid (GaAs) diyodlar kullanılmaktadır.
 - ☞ Şekil 15.17'de, 930nm dalgaboyuna sahip bir GaAs IRED diyodun normalize edilmiş spektral karakteristiği, gözün duyarlık karakteristiği ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.
 - ☞ Mat ve siyah yüzeyler, normal ışığı emip yansıtmadığı halde, dalgaboyu 900nm'nin üzerinde olan kızılötesi ışınları yansıtırlar.
 - ☞ Bu özellik nedeniyle, bir oda içinde verici ve alıcı elemanların doğrudan birbirini görmediği durumlarda bile haberleşme mümkün olur.
 - ☞ Ayrıca, güneşten ve diğer ışık kaynaklarından gelen kızılötesi radyasyon seviyesinin düşük ve değişim hızının yavaş oluşu, bir oda içinde, güvenli olarak telemetry çalışmalarının yapılmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 15.17 Gözün duyarlık karakteristiği ile karşılaştırmalı olarak, kızılötesi diyodun normalize edilmiş spektral karakteristiği



B) Kızılötesi verici devreleri:

Bilindiği gibi, başta güneş ışığı olmak üzere, kızılötesi ışık spektrumu içine, kıvılcım da dahil olmak üzere birçok ışık kaynağı gürültü olarak karışmaktadır.



Bütün bu parazitlerden kurtulmanın bir yolu, çalışma spektrumu dışındaki parazitlerden kurtulmak için, alıcı ışık dedektöründe özel ışık filtreleri kullanmak yanında, IRED diyod ışığını modüle etmektir. Işık modülasyonunda, frekans modülasyonu kullanılabildiği gibi darbe modülasyonu da kullanılmaktadır.



En basit modülasyon türü, verici diyodu, belli bir frekans ile anahtarlamaktır. IRED diyotlardan akıtılan iletim akımı ne kadar büyük olursa, diyodun ışınlama gücü o kadar büyük, başka bir deyişle diyodun etki alanı o kadar büyük olacaktır. Diyottan, sınırlı bir değere kadar

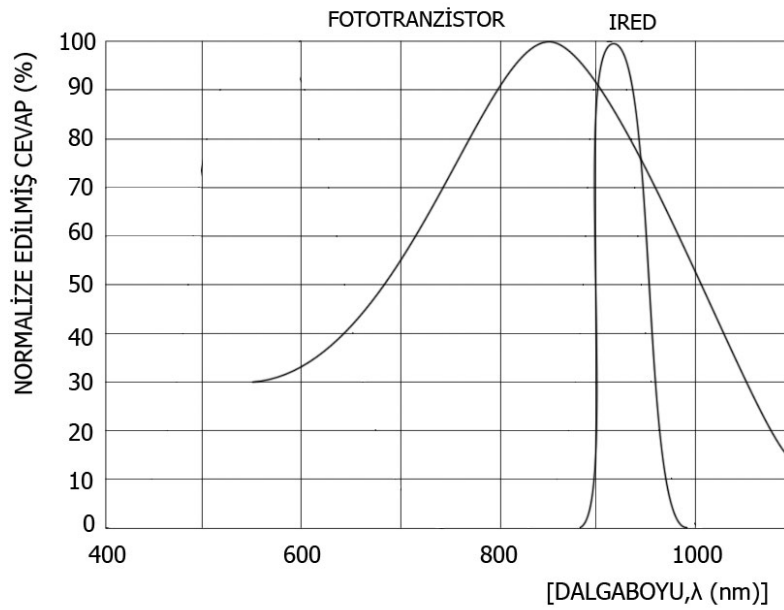
doğru akım akıtılmakta ve bunun sonucu olarak, doğru akımlarla çalışma durumlarında, ışınlama gücü de sınırlı kalmaktadır. Darbeli çalışma durumlarında ise diyottan akıtılan akımın tepe değeri, doğru akıma göre, çok daha yüksek değere çıkartılabilmektedir. Etki alanını arttırmanın bir yolu da paralel olarak birden çok IRED diyodunu devreye sokmaktır.

✚ **C) Fotodiyot, Fototransistör:** Işığın veya dalgaboyu kısa olan elektromagnetik ışınımların elektron açığa çıkartması özelliğini gösteren olaya fotoelektrik olay adı verilmektedir.

✚ Benzer şekilde, akım akmayan bir devrede akım akıtılması, ya da devredeki akım değerinin değiştirilmesi fotoelektrik etki olarak bilinmektedir. Etkime durumuna göre fotoelektrik etkiyi; i) fotoemisyon, ii) fotoiletkenlik, iii) fotovoltaj ve iv) fotomanyetik olarak gruplara ayırmak mümkündür. Fotodirenç gibi ışığa hassas olarak iletkenliği değişen malzemeler, fotoiletkenlik etki prensibine göre çalışmaktadır. Fotodiyot ve fototransistör gibi ışığa hassas olarak bir pn jonksiyonunda elektron-delik çiftlerinin sayısı arttırılarak alan akımının artmasının sağlandığı malzemeler ise, fotovoltaj etki prensibine göre çalışmaktadır. Fotovoltaik etki sonucunda akan akımın şiddeti, jonksiyona uygulanan ışık şiddeti ile orantılı olmaktadır.

✚ Şekil 15.18’de, bir fototransistörün spektral duyarlık eğrisi, IRED diyodunun spektral karakteristiği ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Fotodiyodun spektral duyarlık eğrisi de fototransistörinkine benzer olmaktadır. Verimli veri aktarımında önemli olan, alıcı ve verici eleman spektral karakteristiklerinin

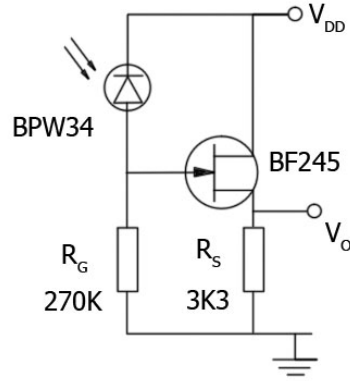
mümkün olduğu kadar üstüste gelmeleri ve aynı zamanda, alıcı ve verici devrelerinin aynı frekansta ve özellikle alıcı-verici eleman spektral duyarlıklarının en yüksek olduğu frekansta çalıştırılmalarıdır. Alıcı-verici elemanları açısından verim, IRED diyodu ile fotoelektrik alıcı eleman karakteristiklerine ait arakesit alanının, IRED diyodunun karakteristik eğrisi altında kalan alana oranı olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 15.18 Bir fototransistörün, IRED diyodun spektral karakteristiğiyle karşılaştırmalı olarak, spektral duyarlık eğrisi

🔗 **D) Kızılötesi alıcı devreleri:** Fotodiyodlar, prensip olarak tıkama yönünde kutuplandıklarından, ışık şiddetinin çok küçük olduğu durumlardaki diyod akımının, diyoda bağlı yükseltecin giriş empedansı tarafından emilmemesi için yükseltecin giriş empedansının oldukça yüksek olması gerekir.

✈ Bu iş için, diyoda bağlı yükselteç olarak, FET elemanlı yükselteç veya FET girişli (veya CMOS yapısındaki) işlemsel yükseltecin kullanılması gerekli olmaktadır. Şekil 15.19’da, FET elemanı ile gerçekleştirilmiş olan fotodiyod yükselteç devre şeması gösterilmiştir.



Şekil 15.19 FET elemanlı fotodiyod yükselteci devre şeması

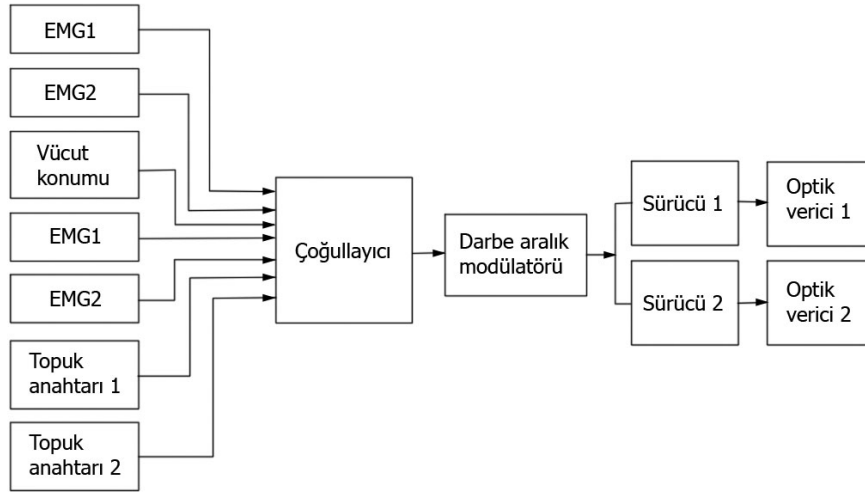
15.6.3 Çok Kanallı Optik Telemetri

✈ Hastanın fiziksel yetersizliklerinin, objektif olarak, davranışlarını etkilemeden izlenmesi ve ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilmek istenebilir.

✈ Bu amaca yönelik olarak hastanın, elektrokardiyogram, elektromiyogram, vücut konumu, ivme ve topuk anahtarı bilgileri, işaret işleme ortamına, zamanda çoğullandıktan sonra darbe aralık modülasyonu kullanılarak telemetri yardımıyla aktarılabilir.

⇒ **A) Çok kanallı optik telemetri vericisi:** Şekil 15.20’de, çok kanallı bir optik telemetri verici kısmının blok şeması gösterilmiştir. Elektrodlar ve

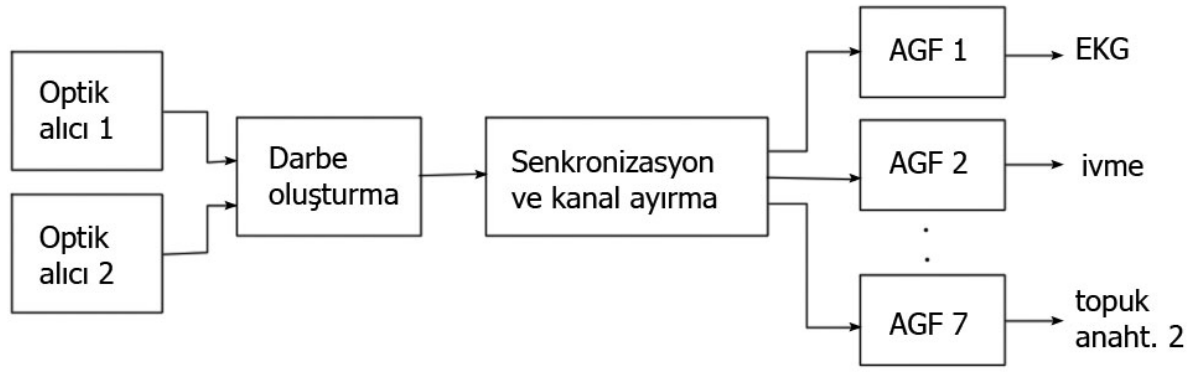
dönüştürücüler yardımıyla hastadan alınan fizyolojik ve fiziksel bilgiler, uygun kuvvetlendirici ve şekillendiricilerden ve bir anahtarlama düzeni ile zamanda çoğullama işleminden sonra darbe aralık modülatörüne ve oradan da sürücü ve optik vericilerle taşıma ortamına gönderilmektedir.



Şekil 15.20 Çok kanallı optik telemetri verici ünitesi blok şeması



B) Çok kanallı optik telemetri alıcısı: Şekil 15.21’de, böyle bir sistemin alıcı ünitesinin blok diyagramı gösterilmiştir. Alıcı ünitesinin ilk elemanı olan optik alıcılar yardımıyla elektriksel işarete çevrilen optik işaretler, kuvvetlendirilip, düzeltilip, kanal ayırma işlemine sokulduktan sonra, işaretlerin orijinal şekilleri elde edilmiş olur. Vericiden gönderilen senkronizasyon aralığı yardımıyla anahtarlama düzeninde kanallara ayrılan işaretler, alçak geçiren filtrelerden geçirilerek temizlenmektedir. Alınan işaretin genliğinde meydana gelebilecek aşırı zayıflamanın olumsuz etkisini önlemek amacıyla da alıcı kısma bir otomatik kazanç devresi ilave edilmiştir.



Şekil 15.21 Çok kanallı optik telemetri sisteminin alıcı ünitesinin blok diyagramı